Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino

Organizadores

Luiz O. Q. Peduzzi
André Ferrer P. Martins
Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira

EDUFRN
Editora da UFRN
50 ANOS

Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino

Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino

Organizadores

Luiz O. Q. Peduzzi
André Ferrer P. Martins
Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira

EDUFRN
Editora da UFRN
50 ANOS

Natal/RN, 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Reitora
Ângela Maria Paiva Cruz

Vice-Reitora
Maria de Fátima Freire Melo Ximenes

Diretora da EDUFRN
Margarida Maria Dias de Oliveira

Conselho Editoral
Cipriano Maia de Vasconcelos
Margarida Maria Dias de Oliveira
Gislene Maria da Silva Ganade
Humberto Hermenegildo de Araújo
John Andrew Fossa
Mônica Maria Fernandes Oliveira
Tânia Cristina Meira Garcia
Tecia Maria de Oliveira Maranhão
Virgínia Maria Dantas de Araújo
Willian Eufrásio Nunes Pereira
Ivery Barros Almeida

Editor
Helton Rubiano de Macedo

Revisão
Nouraide Queiroz

Capa e projeto gráfico
Ivana Lima

Editoração eletrônica
Ivana Lima

Supervisão editorial
Alva Medeiros da Costa

Supervisão gráfica
Francisco Guilherme de Santana

Catalogação da publicação na fonte. Bibliotecária Verônica Pinheiro da Silva.

Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino / Luiz O. Q. Peduzzi, André Ferrer P. Martins e Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira (Org.). – Natal: EDUFRN, 2012.

372 p. : il.
ISBN 978-85-7273-885-9

1. Didática. 2. Física. 3. Ciência. 4. Filosofia. I. Peduzzi, Luiz O. Q. II. Martins, André Ferrer P. III. Ferreira, Juliana Mesquita Hidalgo.

CDU 37.02
T278

© Copyright 2012. Todos os direitos desta edição reservados à EDUFRN – Editora da UFRN
Av. Senador Salgado Filho, 3000 | Campus Universitário | Lagoa Nova | 59.078-970 | Natal/RN | Brasil
E-mail: edufrn@editora.ufrn.br | www.editora.ufrn.br | Telefone: 84 3215-3236 | Fax: 84 3215-3206

Sumário

Prefácio 7

Capítulo 1 **UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PESQUISAS PUBLICADAS NO BRASIL SOBRE O USO DIDÁTICO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**
Elder Sales Teixeira
Ileana Maria Greca
Olival Freire Jr. 9

Capítulo 2 **HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE FÍSICA:** UMA ANÁLISE META-HISTORIOGRÁFICA
Rilávia Almeida de Oliveira
Ana Paula Bispo da Silva 41

Capítulo 3 **QUAL HISTÓRIA E QUAL FILOSOFIA DA CIÊNCIA SÃO CAPAZES DE MELHORAR O ENSINO DE FÍSICA?**
Jenner Barretto Bastos Filho 65

Capítulo 4 **OS MODELOS INVESTIGATIVOS ATUAIS NO ENSINO DA FÍSICA E O RECURSO À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA**
Jorge Valadares 85

Capítulo 5 **ENFRENTANDO OBSTÁCULOS NA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA A SALA DE AULA**
Thaís Cyrino de Mello Forato
Roberto de Andrade Martins
Maurício Pietrocola 123

Capítulo 6 **AVALIANDO A INSERÇÃO DA TEMÁTICA NATUREZA DA CIÊNCIA NA DISCIPLINA DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA GRADUANDOS EM FÍSICA NA UFRN**
Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira
André Ferrer P. Martins 155

Capítulo 7 **UM MÓDULO SOBRE A RADIOATIVIDADE:** SUA HISTÓRIA E SUA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA
Marinês Domingues Cordeiro
Luiz O. Q. Peduzzi 183

Capítulo 8 **A FÍSICA EXPERIMENTAL NUMA PERSPECTIVA HISTÓRICO-FILOSÓFICA**
Marco Braga
Andreia Guerra
José Claudio Reis 211

Capítulo 9 **HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A AÇÃO DOCENTE:** A PERSPECTIVA DE LUDWIK FLECK
Nadir Castilho Delizoicov
Demétrio Delizoicov 229

Capítulo 10 **SOBRE OBSTÁCULOS E PERFIS:** PERSPECTIVAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS A PARTIR DA EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD
André Ferrer P. Martins 261

Capítulo 11 **ESTADO DE REPOUSO E ESTADO DE MOVIMENTO:** UMA REVOLUÇÃO CONCEITUAL DE DESCARTES
Roberto de Andrade Martins 291

Capítulo 12 **A RELAÇÃO ENTRE AS HIPÓTESES E O PAPEL DE DEUS NA DOUTRINA NEWTONIANA**
Diego Aurino da Silva
Luiz O. Q. Peduzzi 309

Capítulo 13 **A CONSTRUÇÃO HISTÓRICA E O ENSINO DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA:** IMPLICAÇÕES DOS DIFERENTES ESTILOS DE PENSAMENTO PARA A QUÍMICA
Marcelo Lambach
Carlos Alberto Marques 331

Capítulo 14 **UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE GENÉTICA CLÁSSICA:** OS ESTUDOS INICIAIS DE THOMAS HUNT MORGAN COM DROSOPHILA
Lilian Al-Chueyr Pereira Martins
Maria Elice Brzezinski Prestes 355

Capítulo 15 **SOBRE OS AUTORES** 365

Prefácio

O Projeto *Ensino de Ciências e Cultura: revelando novas fronteiras,* apoiado pelo Edital *Casadinho* do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tem estabelecido desde 2008 uma parceria entre pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio grande do Norte (PPGECNM-UFRN) e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGECT-UFSC). O programa da UFRN, avaliado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com nota 4 no último triênio, tem recebido apoio do programa da UFSC, avaliado com nota 5, buscando a sua consolidação.

Os pesquisadores participantes desse projeto vêm atuando na área de pesquisa em Ensino de Ciências Naturais, sendo a utilização da História e da Filosofia da Ciência no Ensino um dos interesses mais fortes desses professores. A iniciativa e o fortalecimento das interações previstas pelo projeto têm sido profícuas no âmbito da linha de pesquisa *Epistemologia e História da Ciência e da Matemática*, do PPGECT, que possui estreita relação com as ações e os interesses dos docentes do PPGECNM.

O livro *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*, que com grande satisfação apresentamos, insere-se nas ações previstas pelo projeto com apoio do CNPq. Esta publicação reúne trabalhos dos participantes do projeto e de reconhecidos profissionais com os quais esses pesquisadores mantêm profícuo diálogo.

As reflexões dos professores do *Casadinho UFSC-UFRN* os encaminharam para a organização de uma publicação que reunisse contribuições de historiadores da ciência, filósofos da ciência e educadores interessados no uso da História e da Filosofia da Ciência no Ensino.

Quem percorrer os capítulos deste livro, certamente, notará o quão diferentes entre si são as contribuições ao uso de História e da Filosofia da Ciência no Ensino, oriundas de historiadores, filósofos da ciência e educadores.

Há anos vem se falando na aproximação entre a História e a Filosofia da Ciência e o Ensino. Acreditamos na necessidade de falar numa aproximação maior e aprofundamento do diálogo e do tratamento de questões de pesquisa abrangentes e de ordem geral entre historiadores da ciência, filósofos da ciência e educadores interessados no uso de História e da Filosofia da Ciência no Ensino. Possivelmente, o próprio perfil de formação dos pesquisadores, organizadores desta publicação, tenha-os sensibilizado para a necessidade de fomentar o diálogo.

Quem produz os materiais voltados para o uso da História e da Filosofia da Ciência no Ensino? Quem se debruça sobre as questões teóricas referentes a esse tipo de abordagem?

Historiadores da ciência realizam pesquisas em sua *área pura*, as quais não, deliberadamente, precisam trazer consequências à educação, no entanto, há anos o interesse pelo uso da História da Ciência no Ensino tem aumentado entre os historiadores. Trabalhos com esse direcionamento têm sido apresentados em congressos da área, antes restritos a pesquisas historiográficas.

Embora aos historiadores, na maior parte dos casos, possa faltar a formação como educadores, seu papel quanto à História da Ciência no Ensino é importante tanto no que diz respeito à pesquisa de fontes históricas primárias quanto à produção de material histórico secundário de boa qualidade que possa servir como subsídio para esse tipo de abordagem.

Para os educadores, que muitas vezes carecem da formação em História da Ciência, a aproximação com os historiadores, o contato com as atuais reflexões da área pura é imprescindível. Onde são publicados os trabalhos dos historiadores da ciência? O que caracteriza um bom trabalho em História da Ciência? Para falar sobre o uso da História da Ciência no Ensino é preciso saber o que é a História da Ciência atualmente, quais são os seus referenciais teóricos, suas tendências temáticas, seus problemas, etc.

Acreditamos que as diferentes perspectivas mostradas aqui pelos diferentes profissionais devam ser compreendidas e contextualizadas como contribuições de inestimável valor, provenientes das especificidades desses profissionais. A riqueza desse diálogo pode fazer muito bem ao uso da História e da Filosofia da Ciência no Ensino.

Florianópolis/SC; Natal/RN, julho de 2012

Os organizadores

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PESQUISAS PUBLICADAS NO BRASIL SOBRE O USO DIDÁTICO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

CAPÍTULO 1

Elder Sales Teixeira
Ileana Maria Greca
Olival Freire Jr.

Introdução

A forma de revisão sistemática de literatura, atualmente, tem sido considerada uma das maneiras mais atrativas e eficazes de caracterizar sinteticamente e extrair juízos confiáveis sobre o grande conjunto da literatura especializada de uma determinada área de pesquisa. Em contraste com as tradicionais formas de revisão narrativa, uma revisão sistemática permite obter, de forma crítica e sintetizada, informações relevantes sobre os principais resultados da área de pesquisa, o que pode ser de grande utilidade para os pesquisadores (BENNETT et al., 2005; DIOS et al., 2007).

Um bom exemplo de uso dessa técnica encontra-se em Bennett et al. (2005) que fizeram uma revisão sistemática das pesquisas sobre abordagens de ensino de ciências dos tipos *baseada no contexto* e *Ciência-Tecnologia-Sociedade* (CTS), evidenciando seus efeitos quanto às atitudes dos alunos em direção à ciência e ao entendimento das ideias científicas, dentre outros.

Os critérios usados pelos autores para seleção dos trabalhos foram: uma ampla varredura nas bases de dados para busca dos estudos, critérios genéricos para julgamento de qualidade e envolvimento de mais de um pesquisador nos processos de seleção, julgamento etc. Os autores selecionaram 2.500 trabalhos que foram expostos a determinados critérios de exclusão – estabelecidos de acordo com a questão de pesquisa – restando 17 estudos que foram analisados mais a fundo. A revisão sistemática levou os autores a inferirem, dentre outras coisas, que as abordagens *baseadas no contexto* e *CTS* propiciaram melhorias nas atitudes dos alunos em direção à ciência, mas, quanto ao entendimento das ideias científicas, não houve diferença significativa entre tais abordagens e as abordagens convencionais. O uso da técnica de revisão sistemática, nesse caso, permitiu mostrar um panorama confiável da referida área.

No presente trabalho, pretende-se apresentar o *estado da arte* das pesquisas que investigam intervenções didáticas orientadas por História e Filosofia da Ciência (HFC) em salas de aula de Física e que estão publicadas nas principais revistas brasileiras dedicadas à publicação de trabalhos em Ensino de Ciências e Ensino de Física.

A revista espanhola *Enseñanza de las Ciencias* também foi incluída por ser muito bem conceituada no Brasil e devido à proximidade do idioma espanhol com o português. A finalidade dessa análise é obter informação crítica e confiável, de uma forma sistemática, sobre o que a literatura relativa ao uso didático de HFC tem apontado para essa área de pesquisa em termos dos principais resultados encontrados, em especial, no Brasil, nos mesmos moldes do trabalho realizado por Teixeira et al. (2009) sobre as pesquisas publicadas em revistas internacionais de língua inglesa.

Embora exista uma ampla literatura estimulando o uso de HFC no Ensino de Ciências, bem como propostas curriculares que enfatizam essa orientação (MATTHEWS, 1994), ainda não se encontram, no Brasil, trabalhos de revisão sistemática sobre a eficácia de seu uso.

Metodologia

O levantamento dos trabalhos para a análise foi feito por meio da busca direta nos *sites* das revistas: Ciência & Educação (C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)[1] e *Enseñanza de las Ciencias* (Enz). A busca dos trabalhos para a análise foi feita de forma minuciosa, número a número, selecionando-se os trabalhos inicialmente por meio da leitura dos títulos e resumos dos artigos de cada número das revistas. Em alguns casos, quando isso não era suficiente para uma compreensão sobre a temática dos trabalhos, foi feita a leitura integral do artigo.

Assim, foram selecionados 160 trabalhos que estavam diretamente relacionados com o uso didático de HFC no Ensino de Ciências. Foram encontrados artigos publicados desde a década de 1980 até meados do ano de 2011 (quando foi concluída a coleta das fontes para esta revisão), o que permitiu traçar um panorama geral das publicações sobre uso de HFC no Ensino de Ciências ao longo desse período. Em seguida, esses trabalhos foram submetidos aos seguintes critérios de exclusão:

1) artigos que não tratam de Ensino de Física, mas de Ensino de Ciências em geral ou de alguma outra matéria científica específica como Biologia, Química etc. (foram excluídos 54 artigos devido a esse critério, correspondendo a cerca de 34% do total);

2) artigos de natureza teórica, do tipo reflexão sem aplicação didática (foram excluídos 16 artigos devido a esse critério, correspondendo a 10% do total);

[1] Considerou-se aqui que essas são as principais revistas brasileiras da área, em função do seu impacto na comunidade especializada.

3) artigos que tratam de aplicação em geral como produção, uso e análise de materiais didáticos, mas sem relatos de resultados de intervenção didática em sala de aula (foram excluídos 76 artigos devido a esse critério, correspondendo à cerca de 47% do total).

Dessa forma, uma vez aplicados os critérios de exclusão, restaram 14 artigos (cerca de 9% do total), sendo 13 publicados em revistas brasileiras e 1 na revista espanhola, com o perfil apropriado para esta análise, ou seja, trabalhos de pesquisa que investigaram intervenções didáticas orientadas por HFC em salas de aula de física, os quais foram analisados mais a fundo.

Esse número limitado de trabalhos restantes, como consequência dos recortes feitos por meio dos critérios de exclusão, ilustra a situação atual dessa área de pesquisa no Brasil. Aproximadamente 34% dos trabalhos submetidos aos critérios não tratam de Ensino de Física e, daqueles 106 que tratam de Ensino de Física, cerca de 87% não é de pesquisa que investiga intervenção efetiva em sala de aula. Isso mostra uma relativa escassez das pesquisas de natureza empírica que são publicadas sobre intervenção em sala de aula de Física com uso de HFC.[2] A abrangência e minúcia com as quais o levantamento e a seleção foram feitos, juntamente com os critérios utilizados em todo o processo desta análise, permitem afirmar que se trata de um indicador confiável do *estado da arte* dessa área de pesquisa no Brasil em termos de trabalhos publicados nas revistas especializadas.

Para realizar a análise, inicialmente, foi feita uma caracterização geral dos trabalhos com uma análise mais a fundo acerca dos aspectos metodológicos dos mesmos e, em seguida, uma síntese dos resultados relatados nos trabalhos. O processo de análise dos artigos foi feito via triangulação, inicialmente, por dois dos autores deste trabalho de forma independente e depois submetido à avaliação crítica do terceiro autor; eventuais divergências foram dirimidas por consenso. Antes de expor e discutir os resultados sobre os 14 trabalhos que foram analisados a fundo, será apresentado um panorama geral sobre as 160 publicações selecionadas que tratam de Ensino de Ciências orientado por HFC.

Resultados e Análise

Panorama Geral das Publicações que Incorporam HFC no Ensino de Ciências

Pôde-se, após selecionar os 160 artigos, traçar um panorama geral, acerca da evolução na produção da área de pesquisa – em termos das

[2] Um mesmo tipo de análise (com uso dos mesmos critérios) foi feito pelos autores, com 31 revistas internacionais da área de Ensino de Ciências, como se pode ver em Teixeira et al. (2009). De 152 trabalhos selecionados, 11 passaram pelos critérios de exclusão para análise mais a fundo, o que é quantitativamente semelhante aos encontrados no presente trabalho. Isso mostra que tal escassez ocorre também no âmbito internacional.

publicações no Brasil e na revista espanhola *Enseñanza de las Ciências* – que investiga o uso da HFC no Ensino de Ciências.

Na Tabela 1 é apresentada uma síntese dos resultados quantitativos dessa seleção, contendo o número de artigos encontrados por década e por ano, bem como o número de artigos por revista, em cada ano e no total. Dos dados dessa Tabela foram construídos os Gráficos 1 e 2 (apresentados mais adiante).

Tabela 1 – Síntese das quantidades de trabalhos incluídos na seleção, por década, por ano e por revista

Ano	Número de artigos por década	Número de artigos por ano	Número de artigos por revista					
			C&E	IENCI	CBEF	RBEF	RBPEC	Enz
1980	12							
1981								
1982								
1983								
1984								
1985		3			3			
1986								
1987		1				1		
1988		7			6	1		
1989		1			1			
1990	26							
1991								
1992		3			2	1		
1993		3			2	1		
1994		1			1			
1995		1			1			
1996		3			1	2		
1997		1			1			
1998		10	4	2	1			3
1999		4			1			3
2000	101	7			1	3		3
2001		8			1	3	4	
2002		10	1	1	3	2	1	2
2003		6	1			1	1	3
2004		20	14	1	2	1		2
2005		7	4		2	1		
2006		3			2			1
2007		13	2	3	2	3		3
2008		10	4		1	4		1
2009		17	5		7	3	1	1
2010	21	16	7	2	4			3
2011		5	2			2		1
Totais	**160**	**160**	**44**	**9**	**45**	**29**	**7**	**26**

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.

De acordo com os dados contidos na Tabela 1, podem-se perceber quais as revistas que mais se dedicam a publicar artigos sobre a temática do uso de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, bem como aquelas que menos se dedicam à mesma temática, contudo vale ressaltar que esses dados quantitativos não podem ser considerados um indicativo de qualidade dos trabalhos publicados. Também não se pode estabelecer uma relação de proporção direta entre o número de trabalhos

publicados em uma revista sobre a temática do uso didático de HFC no Ensino de Ciências e o número desses trabalhos que tratam de investigar intervenções didáticas em sala de aula de Física orientadas por HFC, conforme se pode ver na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Número de trabalhos encontrados em cada revista, número de trabalhos excluídos devido a cada critério de exclusão e o número de trabalhos selecionados para análise a fundo, por revista

Revistas	Número total de trabalhos encontrados	Número de trabalhos excluídos por cada critério de exclusão			Número de trabalhos selecionados para análise a fundo
		Critério de exclusão (1)	Critério de exclusão (2)	Critério de exclusão (3)	
C&E	44	29 (65,9%)	0	14 (31,8%)	1 (2,3%)
IENCI	9	3 (33,3%)	0	2 (22,2%)	4 (44,4%)
CBEF	45	2 (4,4%)	13 (28,9%)	28 (62,2%)	2 (4,4%)
RBEF	29	0	0	25 (86,2%)	4 (13,8%)
RBPEC	7	2 (28,6%)	0	3 (42,8%)	2 (28,6 %)
Enz	26	18 (69,2%)	3 (11,5%)	4 (15,4%)	1 (3,8%)
Totais	**160**	**54 (34%)**	**16 (10%)**	**76 (47%)**	**14 (9%)**

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.

Nota: os valores que aparecem entre parênteses representam os percentuais em relação ao número total de trabalhos encontrados, por revista.

A Tabela 2 mostra que as duas revistas que publicaram o menor número de trabalhos sobre a referida temática – IENCI e RBPEC – foram, justamente, aquelas que apresentaram os maiores percentuais relativos (respectivamente, 44,4% e 28,6%) entre o número de trabalhos que foram selecionados para a análise a fundo – aqueles trabalhos que apresentaram resultados efetivos de pesquisas que investigam intervenções didáticas orientadas por HFC em salas de aula de Física – e o número total de trabalhos encontrados na respectiva revista. Em contrapartida, aquelas que publicaram o maior número de trabalhos em termos absolutos – CBEF e C&E – estão entre as que apresentaram os menores percentuais relativos, respectivamente, 4,4% e 2,3%. Esses dados significam que as revistas CBEF e C&E são aquelas que mais publicam artigos relacionados com a temática do uso de HFC no Ensino de Ciências, porém estão entre as que menos publicam artigos de pesquisa efetiva em sala de aula de Física sobre tal temática. Por sua vez, as revistas IENCI e RBPEC publicaram poucos artigos sobre esta temática, contudo parte significativa desses são trabalhos empíricos realizados em contextos de salas de aula de Física.

A Tabela 2 mostra, ainda, que as revistas Enz e C&E são as que apresentam maior número de artigos publicados sobre a temática do uso de HFC no ensino de outras áreas científicas que não a Física (critério de exclusão (1)), o que pode ser explicado em função da própria natureza dessas revistas, pois são dedicadas ao Ensino de Ciências em geral. Essa

mesma explicação serve para as revistas CBEF e RBEF que têm seus enfoques no Ensino de Física, o que justifica os resultados de 4,4% e 0, respectivamente, de trabalhos sobre outras áreas que não a Física, contudo, era de se esperar esse tipo de explicação também no que se refere às revistas IENCI e RBPEC – que são dedicadas ao Ensino de Ciências em geral – mas, no caso destas, a maioria dos trabalhos encontrados (66,6% e 71,4%, respectivamente) trata do uso de HFC no Ensino de Física. Isto tudo pode indicar que parece haver, ainda, uma predominância no Brasil das pesquisas em Ensino de Física em relação às outras áreas de ensino, ao menos no que tange ao uso didático de HFC.

Esse argumento pode ser corroborado, ao se observar (na Tabela 3, abaixo) os dados quantitativos da 1ª Conferência Latino-Americana do *International History, Philosophy, and Science Teaching Group* (IPHST-LA)[3] que ocorreu em Maresias-SP no ano de 2010 e que tratou da comunicação e discussão de trabalhos sobre uso de HFC no Ensino de Ciências. Conforme os dados, foram apresentados 98 trabalhos brasileiros, o que mostra que há uma comunidade relativamente numerosa de pesquisadores que trabalham com essa temática no Brasil, com uma predominância significativa da área de Física.

Por outro lado, os dados apresentados por Teixeira et al. (2009), por meio dos quais se pode inferir o baixo índice de publicação de trabalhos brasileiros sobre essa temática em revistas internacionais, servem para ilustrar o argumento de Linjse (2004) de que muitos trabalhos apresentados nos congressos locais e internacionais não são convertidos em artigos publicados em revista de língua inglesa, mostrando que há um número maior de pesquisas sendo feitas com essa temática em países periféricos, como o Brasil, do que a comunidade internacional toma conhecimento.

Tabela 3 – Número de trabalhos apresentados por área de conhecimento e por país na 1ª IPHST-LA

País	Áreas de conhecimento						Totais
	Física	Química	Biologia	Matemática	Ciências (em geral)	Outras	
Brasil	37	20	15	8	13	5	98
Argentina	2	2	2		8	3	17
Colômbia	4	5			1		10
México		5	1		1	1	8
Portugal	4		1				5
EUA					3		3
Chile		1			1		2
Alemanha	1				1		2
Espanha			1		1		2
Turquia	1	1					2
Suécia					1		1
Canadá					1		1
Austrália					1		1
Totais	**49**	**34**	**20**	**8**	**32**	**9**	**152**

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.
Nota: o número total de trabalhos apresentados foi 138 (101 distribuídos em 34 sessões de apresentação oral, e 37 em 2 sessões de pôster). O total de 152 que aparece na Tabela se dá em razão de que alguns dos trabalhos tratavam de mais de uma área simultaneamente e foram incluídos em cada uma delas.

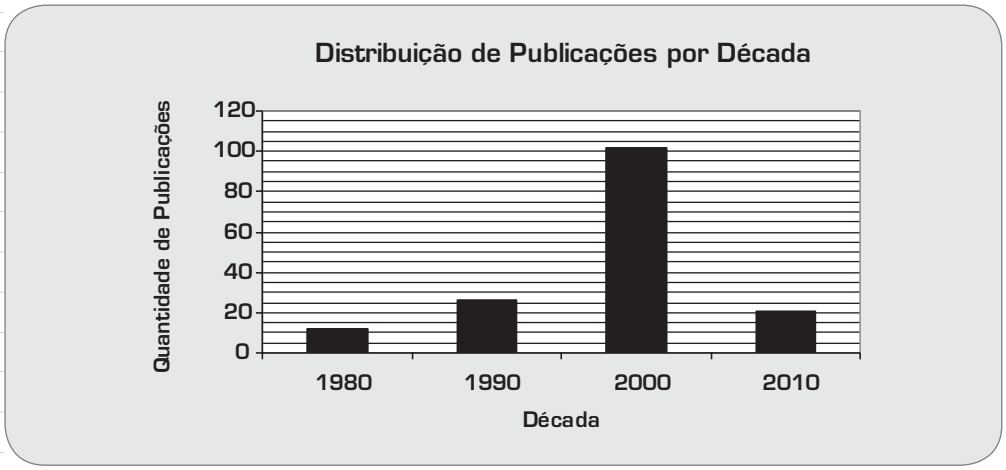
[3] Os dados da Tabela 3 foram sistematizados a partir de uma análise do livro de resumos da referida conferência (SILVA, 2010).

Voltando à Tabela 2, há ainda algumas informações específicas que chamam a atenção. Das revistas brasileiras, apenas o CBEF tem publicado artigos de natureza teórica sobre o uso didático de HFC, a despeito da política editorial das demais revistas.[4] Adicionalmente, a RBEF somente tem publicado artigos do tipo aplicação – sobre a temática em questão – sejam artigos que investigam intervenções didáticas, sejam aplicações de outro tipo (conforme o critério de exclusão (3)).

As informações fornecidas pelas Tabelas 1 e 2 traçam, portanto, um perfil quantitativo do quadro de publicações dessas revistas no que se refere à temática de pesquisa em Ensino de Ciências, e em particular de Física, orientado por HFC. Tais informações podem ser úteis, sobretudo para pesquisadores iniciantes, quando da sua busca por trabalhos de referência focados nessa temática.

Ao avaliar o panorama geral das publicações sobre essa temática, pode-se observar de imediato, a partir do Gráfico 1, o aumento substancial do número de pesquisas publicadas referentes à incorporação de HFC no Ensino das Ciências ao longo das décadas.

Gráfico 1 – Distribuição, por década, do número de publicações que foram selecionadas (total = 160 artigos)



Fonte: elaborado pelos autores desta pesquisa.

Vale lembrar que, na década atual, somente foram coletados os dados relativos ao ano de 2010 e ao primeiro semestre de 2011 (quando foi concluída a coleta de artigos). Nesse período de um ano e meio o número de artigos encontrados é quase o mesmo de toda a década de 1990 e superior ao número encontrado no mesmo período da década anterior (entre 2000 e 2001, conforme pode ser visto no Gráfico 2).

[4] Conforme a política editorial das revistas C&E, IENCI, RBPEC e Enz, são aceitas publicações de artigos que tratam de resultados de pesquisa em Ensino de Ciências, Educação Matemática e áreas afins, incluindo trabalhos de reflexão teórica, revisões de literatura e metodologias de pesquisa; já as revistas RBEF e CBEF, a despeito de serem específicas de Física, atendem a um espectro mais amplo em sua política editorial aceitando artigos que buscam contribuir para o Ensino de Física de um modo geral, não necessariamente como resultados de trabalhos de pesquisa.

Isso indica uma tendência de crescimento ainda maior nas publicações acerca dessa temática na década atual. Esse aumento é similar ao que foi encontrado por Teixeira et al. (2009) em relação às publicações internacionais sobre a mesma temática e, até então, pode ser justificado pela crescente preocupação dos pesquisadores sobre o tema no âmbito internacional, conforme tem sido documentado em vasta literatura (Justi e Gilbert, 2000; Matthews, 1994; Abd-El-Khalick e Lederman, 2000; Rutherford, 2001; Robinson, 1969), o que pode ter influenciado a comunidade especializada brasileira.

Para tratar especificamente da situação no Brasil, informações relevantes podem ser encontradas em Carvalho e Vannucchi (1996). Essas autoras fizeram uma análise das propostas e tendências curriculares de Física nos anos noventas a partir das atas, memórias e *proceedings* dos simpósios, encontros, reuniões e congressos de Ensino de Física realizados naquela década no Brasil e em outros países da América Latina e Europa. Em praticamente todos os eventos analisados, dentre as ênfases curriculares propostas que fizeram parte da investigação, a HFC apareceu como a categoria predominante, conforme afirmam as autoras: "Outra prioridade apontada nos eventos nacionais e internacionais é a inclusão da História e Filosofia da Ciência nos currículos escolares. Esta é a categoria cuja inclusão curricular apresenta maior consenso" (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996, p. 8).

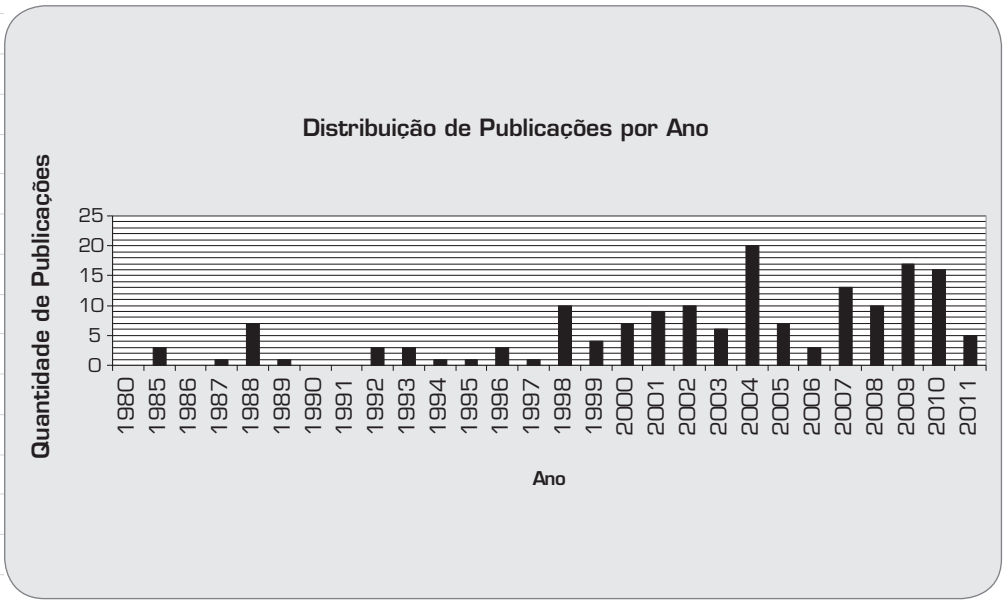
Essa predominância só ocorre quando se tratam das propostas curriculares indicadas nos eventos por meio de mesas-redondas, conferências, grupos de trabalho e encontros. Ao analisar os relatos de pesquisas empíricas apresentadas nos mesmos eventos nas formas de comunicação oral e painel, foi observada a ocorrência de um número consideravelmente menor de trabalhos que tratavam da inclusão da HFC no Ensino de Física, em comparação com o número de propostas curriculares. Assim, as autoras apontaram uma discrepância entre o que se propõe no Ensino de Física (em termos de ênfases curriculares sugeridas nos eventos) e o que se pratica (em termos de currículos adotados, efetivamente, pelos educadores), o que parece refletir uma dificuldade de se traduzir propostas baseadas no uso de HFC em prática de sala de aula (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996).

Essa dificuldade encontra ressonância nos resultados da análise feita por Teixeira et al. (2009), bem como nos dados do presente trabalho, aqui já apresentados, que indicam que, apesar do aumento significativo do número de artigos que tratam do uso de HFC no Ensino das Ciências, o número de pesquisas empíricas que investigam intervenção didática com HFC nas salas de aula de Física é ainda pequeno.

Nesse panorama mais geral, pode-se ainda observar, no Gráfico 2, o crescimento no número de publicações entre o final dos anos 1990 e meados dos anos 2000 com a ocorrência de um pico em 2004 em função, principalmente, de um número especial da revista C&E sobre a temática

HFC e Ensino de Ciências. Os argumentos apresentados por Matthews (1992) quanto à tendência de reaproximação entre a HFC e o Ensino de Ciências a partir de meados dos anos 1980 podem justificar este fato. A percepção de uma crise geral no ensino de ciências no final da década de 1980 levou a comunidade de educadores, pesquisadores etc. a realizar uma série de conferências nesse período nos Estados Unidos e Europa sobre o ensino de HFC nos currículos de Ciências; levou também às reformas curriculares que ocorreram na mesma época com a inclusão da HFC e ao surgimento de programas de formação de professores com a mesma preocupação (MATTHEWS, 1992). Isso tudo se refletiu também no Brasil com a realização de eventos como simpósios, encontros, reuniões e congressos (CARVALHO; VANNUCCHI, 1996), o surgimento de várias revistas sobre Ensino de Ciências (por exemplo, C&E, IENCI e RBPEC) e a criação de programas de pós-graduação sobre essa temática (FREIRE JR.; TENÓRIO, 2001). Assim, como consequência, houve um aumento substancial, nesse período, da produção de trabalhos focados nesse tema, conforme demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Distribuição, por ano, do número de publicações que foram selecionadas (total = 160 artigos)



Fonte: elaborado pelos autores desta pesquisa.

Finalizando esse panorama mais geral, é fato que há, na literatura internacional e nacional, uma quantidade substancial de trabalhos de referência que apresentam argumentos muito bem fundamentados do ponto de vista teórico sobre a importância da HFC para o Ensino de

Ciências, a exemplo de Matthews (1994); Rutherford e Ahlgren (1995); Seroglou e Koumaras (2001); Nardi (2007); Silva (2006); Peduzzi (2006).

São vários os argumentos em favor do uso da HFC no Ensino de Ciências, tais como, melhor compreensão de conceitos, visão mais crítica sobre a ciência, maior motivação dos alunos para o estudo das ciências, dentre outros. Por outro lado, há poucos trabalhos que fornecem corroboração empírica para esses argumentos, conforme Teixeira et al. (2009) e Carvalho e Vannucchi (1996). Certamente, a despeito da força e do papel dos argumentos teóricos, não é prudente assumi-los como pressupostos verdadeiros antes de testá-los, sobretudo, quando o objeto de estudo manifesta-se em situações reais de sala de aula como é o caso do Ensino de Ciências.

Portanto, essa área de pesquisa deve estar alerta para a necessidade de que sejam feitos maiores esforços para a realização de intervenções didáticas com uso de HFC no Ensino de Ciências e que tais intervenções sejam objetos de investigação, a fim de que se possa compreender melhor em situações reais de sala de aula qual a real contribuição que a HFC pode oferecer ao ensino e aprendizagem das ciências.

Caracterização Geral dos Trabalhos

Uma caracterização geral dos 14 trabalhos que restaram para análise mais a fundo (Tabela 4) foi feita, após terem sido empregados os critérios de exclusão aos 160 trabalhos selecionados inicialmente. Esses trabalhos, por simplificação, passam a ser nomeados nas Tabelas seguintes por meio das letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M e N (cujas referências completas encontram-se no final do presente texto).

Tabela 4 – Relação dos trabalhos selecionados para análise a fundo

Trabalho	Revista	Ano	Autor(es)	Título
A	CBEF	2004	HÜLSENDEGER, M.	Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos
B	CBEF	2005	KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q.	Uma discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita
C	C&E	2009	TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O.; EL-HANI, C. N.	A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de Física
D	Enz	2011	HOSSON, C.	Una controversia histórica al servicio de una situación de aprendizaje: una reconstrucción didáctica basada en Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo de Galileo
E	IENCI	1998	PEDUZZI, L. O. Q.	Um texto de Mecânica em nível universitário básico: conteúdo programático e receptividade a seu uso em sala de aula

Trabalho	Revista	Ano	Autor(es)	Título
F	IENCI	2007	MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A.	O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuros professores de Física
G	IENCI	2010	GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D.	História da Ciência no Ensino de Física: um estudo sobre o Ensino de Atração Gravitacional desenvolvido com futuros professores
H	IENCI	2010	TEIXEIRA, E. S.; SILVA, C. P.; FREIRE, O.; GRECA, I.	A construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupo
I	RBEF	1992	PEDUZZI, L. O. Q.; MOREIRA, M. A.; ZYLBERSZTAJN, A.	As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a História da Ciência numa sequência de conteúdos em Mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem Histórica da Relação Força e Movimento
J	RBEF	2002	MAGALHÃES, M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C.	Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da História da Física
K	RBEF	2004	DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M.	A gravitação universal (um texto para o Ensino Médio)
L	RBEF	2007	MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F.	História e Epistemologia da Física na Licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência
M	RBPEC	2001	TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR., O.	Concepções de estudantes de Física sobre a Natureza da Ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do Ensino de Ciências
N	RBPEC	2002	HARRES, J. B. S.	Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.

Para fazer essa caracterização geral, foram levados em consideração os seguintes aspectos: assunto da Física envolvido no trabalho; se o trabalho considera na intervenção didática somente o uso da História da Ciência (HC), somente da Filosofia da Ciência (FC) ou dos dois conjuntamente (HFC); objetivos gerais do trabalho; como usa HFC no Ensino de Física; nível de ensino – Superior (S), Médio (M), Fundamental (F); n° de alunos; tempo da intervenção didática; estratégia de ensino empregada na intervenção didática; desenho geral da pesquisa; e se foram levantados os conhecimentos prévios dos alunos, sejam em relação ao assunto da Física tratado na intervenção, sejam em relação à HFC. Essa caracterização está sintetizada na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização geral dos trabalhos

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
A	Queda dos corpos	HC	Comparar as concepções dos alunos com as concepções aristotélicas e apresentar uma estratégia alternativa para influir em tais concepções.	Por meio de textos originais de Galileu e reprodução de experimentos históricos.	M – 30 – 250 min	Atividades experimentais com material de baixo custo, realização de experimentos históricos de Galileu, leitura e discussão dos textos. Todas as atividades em grupo com entrega de relatório e avaliação. Considera o paralelismo entre representações dos alunos e ideias aristotélicas, buscando influir nas concepções dos alunos.	Trabalho qualitativo com anotações de campo, uso de questionários, relatórios e opinário. A pesquisadora conduziu as atividades de sala de aula e coletou os dados da pesquisa.	S	N
B	Teoria da Relatividade Restrita	HFC	Apresentar um módulo didático baseado em HFC e analisar sua implementação em sala de aula em termos das mudanças nas concepções sobre a NC dos alunos e da sua receptividade ao módulo didático.	Por meio de textos históricos, história em quadrinhos sobre o trabalho dos cientistas e extratos de textos originais.	M – 31 – 675 min	Aplicação do módulo didático baseado nos três momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov (problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento), com uso de atividades em grupo, visando às mudanças nas concepções dos alunos sobre a NC.	Trabalho quali-quantitativo com uso de questionário (pré- e pós-teste), história em quadrinhos, textos, figuras, dramatização e opinário como fontes de dados. Uso de teste não-paramétrico McNemar. Um dos autores conduziu a intervenção didática e a coleta de dados.	N	S
C	Mecânica Clássica	HFC	Analisar as mudanças nas concepções dos estudantes sobre a NC devido a uma disciplina informada por HFC.	Por meio de textos históricos originais e de especialistas.	S – 31 – 1 semestre	Aulas com discussão orientada pelos textos	Trabalho qualitativo com uso de estatística descritiva. Usa questionário VNOS(C) (pré- e pós-teste) e entrevistas. Relata a validação dos instrumentos e usa como critério de fidedignidade dos resultados à análise independente feita pelos três pesquisadores. Um dos pesquisadores conduziu a disciplina e a coleta de dados.	N	S

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
D	Mecânica Clássica	HC	Apresentar uma sequência de ensino-aprendizagem de Mecânica, construída a partir dos Diálogos (de Galileu) e avaliar seu impacto em uma situação real de sala de aula.	Por meio de um trecho dos Diálogos de Galileu.	F – 71 – 2 h	Apresentação breve de trecho dos Diálogos e colocação de problema para discussão. Usa um marco teórico do construtivismo social que considera a construção do conhecimento novo pelo aluno a partir dos esquemas que já possui (Ausubel) – para ajudá-lo a romper com a ideia de relação de causalidade entre contato e movimento e se aproximar do princípio de conservação do movimento (mudança conceitual nos marcos do paralelismo entre obstáculos cognitivos dos alunos e mudanças teóricas na ciência) – e propiciada pela interação com os demais sujeitos e com o objeto de estudo.	Trabalho qualitativo com uso de estatística descritiva. Usa um questionário e registros das discussões em sala de aula (não foi mencionado como foi feito o registro); faz teste de hipóteses. O próprio pesquisador conduziu a intervenção didática.	N	N
E	Mecânica Clássica	HFC	Apresentar o conteúdo programático de um texto que articula o assunto com as concepções alternativas, a resolução de problemas e o uso da HFC, e avaliar sua receptividade e viabilidade em sala de aula	Por meio de um texto, elaborado pelo pesquisador, de natureza histórica, conceitual e que também discute questões sobre o ensino	S – 22 – 1 semestre	Aulas expositivas com leitura e discussão do texto, seminários em grupos, trabalhos escritos pelos grupos e resolução de problemas abertos pelos alunos no quadro. Considera o paralelismo entre desenvolvimento histórico das idéias científicas e as concepções espontâneas dos alunos com vistas a superá-las	Trabalho qualitativo. Foram feitas observações e opinário com uso da escala Likert. Usa como critério de validade a corroboração dos resultados do opinário com as observações do pesquisador. Explicita as limitações do trabalho. O próprio pesquisador conduziu a disciplina e a coleta de dados	S	N

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
F	História e Epistemologia da Física	HFC	Descrever o processo de compreensão da cultura de sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física e avaliar sua influência nas concepções dos alunos sobre a ciência	Por meio de textos de História e Epistemologia (alguns elaborados por um dos autores)	S – 23 – 1 ano	Aulas expositivas e de discussão explícita de visões epistemológicas com uso de transparências, debates, seminários, mapas conceituais, atividades em grupos e escrita de monografias em duplas	Trabalho qualitativo, etnográfico com extensas observações de campo, enculturamento e imersão da pesquisadora no ambiente da pesquisa. Usa também como fonte de dados os resultados das atividades dos alunos. Usa como critério de fidedignidade o consenso dos dois pesquisadores quanto aos resultados, e de validade a imersão dos alunos na instituição e nas atividades de pesquisa, visto que são veteranos do curso. Um dos autores coletou os dados e o outro conduziu a disciplina. Os autores citam que o trabalho faz parte de uma pesquisa maior quali-quantitativa	Não se aplica (o assunto é HFC)	S
G	Atração Gravitacional	HFC	Compreender se uma experiência didática centrada na integração da História da Ciência no ensino, levando-se em conta as concepções e experiências didáticas de futuros docentes, pode contribuir para a aceitação de novas metodologias de ensino	Por meio do uso de textos de natureza histórica sobre a atração gravitacional	S – 11 – 1 ano	Atividades de leitura, debates e sínteses dos temas estudados, relacionados com a construção do conhecimento científico, a evolução histórica da atração gravitacional e as pesquisas sobre o ensino e aprendizagem de ciências;	Trabalho qualitativo, tipo estudo de caso; foram feitas entrevistas em um grupo focal (que foram transcritas); uso de questionários, incluindo o VOSTS; uso de depoimentos, notas de campo, fotografias, descrições de pessoas e situações;	S	S

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
H	Síntese Newtoniana	HFC	Investigar a qualidade da argumentação produzida coletivamente sobre a síntese newtoniana, bem como a relação entre a qualidade dessa argumentação e o texto referência (de natureza histórica) usado nas atividades didáticas desenvolvidas.	Por meio do uso de um texto de natureza histórica que apresenta a Proposição IV do Livro III dos Principia de Newton, na qual este apresenta a experiência de pensamento da queda da Lua para introduzir a ideia de força gravitacional	S – 30 – 1 semestre	Aulas de discussões (baseadas no texto) em grupos e entre os grupos com mediação do professor. As discussões foram orientadas por um questionário.	Trabalho qualitativo com observação participativa; aulas foram gravadas em áudio e em vídeo, posteriormente transcritas; foi feito uso de mapas de aulas para identificação dos episódios de ensino que foram objetos de análise; e uso de um instrumento para caracterização das interações em sala de aula; foi usada como instrumento de análise a estrutura de argumentação de Toulmin (instrumento já validado na literatura); foi feita triangulação para determinação da fidedignidade; a validação interna foi feita por meio das análises das discussões em grupos e entre os grupos.	N	N
I	Mecânica Clássica	HC	Apresentar um texto que leva em conta as concepções espontâneas, a história da Mecânica e a solução de problemas abertos, e avaliar sua aplicação em sala de aula.	Por meio de um texto, elaborado pelos pesquisadores, de natureza histórica, conceitual e que também discute questões sobre o ensino.	S – 6 grupos de 4 alunos, em média – 1 semestre	Aulas expositivas, leitura e discussão do texto em grupos e realização de debates.	Trabalho qualitativo com uso de observações, opinário e entrevistas. Usa como critério de validade a complementação dos resultados obtidos com os diferentes instrumentos. Os autores explicitam as limitações do trabalho.	N	N

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
J	Campos Elétrico e Magnético	HC	Propor e avaliar uma estratégia de ensino dos conceitos de campo elétrico e magnético por meio da HC com vista à aprendizagem significativa.	Por meio de textos históricos	M – 120 – Não especificado	Uso dos textos históricos como organizadores prévios para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético.	Trabalho qualitativo com uso de estatística descritiva. Usa questionário e exames de conclusão da disciplina como fontes de dados. Usa como critério de validade a corroboração dos resultados obtidos com o questionário e o exame e explicita as limitações do trabalho. Um dos autores conduziu a disciplina e a coleta de dados.	S	N
K	Gravitação Universal	HC	Propor e avaliar uma estratégia de ensino da gravitação Universal com uso da HC com vista à aprendizagem significativa	Por meio de textos históricos com excertos dos originais de Galileu	M – 82 – Não especificado	Uso dos textos históricos como organizadores prévios para o ensino da Gravitação Universal	Trabalho qualitativo com uso de estatística descritiva e questionário (pré- e pós-teste). Os autores explicitam as limitações do trabalho	S	N
L	História e Epistemologia da Física	HFC	Descrever como foi implementada uma disciplina de História e Epistemologia da Física e avaliar as mudanças nas concepções sobre a NC dos estudantes que a cursaram.	Por meio de textos de História e Epistemologia (alguns elaborados por um dos autores).	S – 23 – 1 semestre	Aulas expositivas e de discussão explícita de visões epistemológicas com apresentação de seminários, mapas conceituais, atividades em grupos e escrita de monografias em duplas.	Trabalho quantitativo com uso de questionário (pré- e pós-teste). A fidedignidade foi estimada pelo coeficiente alfa de Crombach. Foi feito teste piloto e uso do coeficiente de correlação de Pearson e feito teste de hipótese nula e teste não-paramétrico de associação qui-quadrado. Usa como critério de validade a corroboração dos resultados obtidos com o questionário e observações e também com a análise qualitativa (relatado em outro artigo). Um dos autores conduziu a disciplina e outro coletou os dados como observador participativo	Não se aplica(o assunto é HFC).	S

Trabalho	Assunto	Usa	Objetivos	Como usa HFC no EF	Nível de ensino /n° de alunos/tempo de aplicação em sala	Estratégia de ensino	Desenho da pesquisa	Foram levantados conhecimentos prévios?	
								No assunto	Em HFC
M	Mecânica Clássica	HFC	Analisar as mudanças nas concepções dos estudantes sobre a NC devido a uma disciplina informada por HFC.	Por meio de textos históricos originais e de especialistas	S – 31 – 1 semestre	Aulas com discussão orientada pelos textos	Trabalho qualitativo com uso de estatística descritiva. Usa questionário VNOS(C) (pré- e pós-teste) e entrevistas. Relata a validação dos instrumentos e usa como critério de fidedignidade dos resultados à análise independente feita pelos três pesquisadores. Um dos pesquisadores conduziu a disciplina e a coleta de dados.	N	S
N	Mecânica Clássica (força e movimento)	HC	Analisar o estágio de evolução do conhecimento dos estudantes sobre força e movimento, a partir do desenvolvimento histórico da dinâmica	Por meio de textos históricos	S – 53 – Não especificado	Leitura e discussão dos textos, atividades em grupo e solução de questionário aberto.	Trabalho qualitativo com estatística descritiva e uso de questionários. O autor cita que o trabalho faz parte de uma pesquisa maior e não explicita se foi também o condutor da disciplina	S	N

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.

O primeiro aspecto a se notar é a alta concentração de trabalhos que tratam de Física Clássica, sendo 6 sobre Mecânica Clássica, 1 que especificou o assunto queda-livre, 3 que especificaram gravitação universal de Newton (totalizando 10 trabalhos sobre Mecânica Clássica) e 1 sobre campos elétrico e magnético; houve ainda 2 trabalhos cujo assunto foi a própria História e Epistemologia da Física e apenas 1 trabalho sobre Física Moderna, especificamente, relatividade restrita.

Isso parece ilustrar uma tradição no ensino e na pesquisa em Ensino de Física no Brasil, cujo foco em Mecânica Clássica parece ser predominante (Araújo; Abib, 2003; Carlos et al., 2009; Azevedo et al., 2009). No cenário internacional, conforme a revisão feita por Teixeira et al. (2009), também há uma predominância significativa de trabalhos sobre Física Clássica, pois dos 11 trabalhos avaliados apareceu apenas 1 trabalho sobre Física moderna; contudo, diferentemente do que ocorreu nos trabalhos brasileiros, o foco principal foi a ótica clássica. Considerando o movimento que ocorreu principalmente a partir da década de 1980 para inclusão da Física Moderna no ensino, parece ter havido pouca repercussão disso na pesquisa, ao menos na que trata do uso de HFC no Ensino de Física.

Quanto ao nível de ensino, a grande maioria dos trabalhos foi realizada no âmbito do Ensino Superior (9 trabalhos) e apenas 1 no Ensino Fundamental e 4 no Ensino Médio, ao contrário do que ocorreu no cenário internacional em que a maioria dos trabalhos eram concentrados nos níveis fundamental e médio.

Em relação ao tempo de intervenção, a grande maioria desenvolveu a pesquisa durante 1 semestre, houve ainda 2 estudos com duração de 1 ano e apenas 2 trabalhos com duração de 1 unidade ou menos, o que é positivo em relação ao cenário internacional, no qual apenas três trabalhos tiveram duração de 1 semestre ou mais. Embora não exista uma relação entre tempo de intervenção e qualidade da pesquisa, pode-se afirmar que quanto maior o tempo de intervenção é possível que se venha a produzir maiores efeitos para serem investigados. Ainda, houve três trabalhos que não especificaram o tempo de duração da intervenção.

Outro aspecto positivo é que quase a totalidade dos trabalhos optou por uma estratégia de ensino em que o conteúdo da Física era apresentado de forma integrada com a HFC. Essa abordagem, segundo Mathews (1994), é mais eficaz por tratar dos conteúdos de uma forma conectada com a HFC. Trata-se de apresentar o assunto por meio de uma abordagem que discute o seu surgimento e evolução histórico-conceitual, em oposição à estratégia não integrada, em que o conteúdo da Física é apresentado de forma independente da sua evolução histórica[5]. Um exemplo da primeira estratégia encontra-se no *Project Physics Course*[6] (conhecido

[5] Nos termos empregados por Matthews (1994), essas duas estratégias são denominadas, respectivamente, de *integrated approach* e *"add-on" approach*.

[6] HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. James; WATSON, F. G. *Project Physics Course*. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1970. Tradução portuguesa *Projecto Física*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978.

no Brasil como Projeto Física de Harvard) e um exemplo da segunda estratégia encontra-se no livro didático de Física de Máximo e Alvarenga[7], em que após a apresentação dos assuntos de forma desconectada dos seus aspectos históricos e filosóficos é apresentado um tópico à parte com notas históricas e/ou biográficas de algum cientista do passado.

A totalidade dos trabalhos usa HFC no Ensino de Física por meio de textos do tipo narrativa histórica incluindo, em alguns casos, textos originais. Houve ainda um único trabalho que, adicionalmente ao uso de textos históricos, fez uso de histórias em quadrinhos sobre o trabalho dos cientistas e outro que, também adicionalmente, recorreu ao uso de atividades experimentais de baixo custo que reproduzem experimentos históricos. Sobre este último aspecto, em linhas gerais, há uma diferença em relação à situação internacional, pois os pesquisadores brasileiros não parecem ter investido na realização de réplicas de experimentos históricos, assim como no emprego de problemas historicamente contextualizados como recurso didático – como fizeram vários pesquisadores no âmbito internacional –, o que restringe as possibilidades de uso da HFC no Ensino de Física.

Outra limitação é que apenas a metade dos trabalhos discutiu os princípios pedagógicos usados para fundamentar as intervenções de ensino empregadas. Três desses trabalhos (A, D e E) colocam uma ideia muito geral da corrente da mudança conceitual, considerando o paralelismo entre representações dos alunos e ideias científicas passadas, buscando influir nas concepções dos alunos; um deles (D) discute também a intervenção didática desenhada segundo o construtivismo social; outro (B) apresenta a organização didática feita segundo os momentos pedagógicos propostos por Angotti e Delizoicov; outro (H) apresenta-se na perspectiva socio-interacionista baseada em Vygotsky; dois (J e K) apresentam a História da Ciência como organizador prévio, buscando alcançar aprendizagem significativa nos termos da teoria de Ausubel. A limitação expressa pela outra metade que não fez esse tipo de discussão encontra ressonância com os trabalhos analisados no cenário internacional, no qual foi encontrada pouca discussão dos pressupostos pedagógicos que orientaram as intervenções didáticas investigadas e relatadas nos artigos que foram analisados por Teixeira et al. (2009), o que pode representar, por um lado, um descuido por não se considerar relevante a apresentação de tais discussões nos artigos e, por outro, que os pesquisadores consideram o uso da HFC como uma estratégia didática em si própria, que não necessitaria do apoio de teorias psicológicas ou pedagógicas para sua implementação.

Foi notado que todos os trabalhos fizeram uso da História da Ciência na abordagem contextual utilizada na intervenção didática, porém apenas oito fizeram uso de Filosofia da Ciência. Resultado similar foi encontrado também no cenário internacional. Isso pode representar uma dificuldade

[7] MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física 1*. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997. 392p.

de se apresentar os conceitos científicos de uma forma epistemologicamente contextualizada, conforme argumenta Matthews (1994).

Apenas seis trabalhos tiveram a preocupação de fazer o levantamento das concepções prévias dos alunos em relação aos conceitos de física, mesmo número de trabalhos que fez o levantamento das concepções prévias em relação à HFC. Do ponto de vista metodológico, é notória a importância de se identificar os conhecimentos prévios dos sujeitos de pesquisa quando se pretende investigar os efeitos de uma determinada abordagem didática, portanto isso pode representar uma limitação quanto ao alcance dos resultados das pesquisas que não fizeram tais levantamentos. Ainda, conforme ocorreu com os trabalhos internacionais analisados por Teixeira et al. (2009), nenhum dos trabalhos fez uma reavaliação dos seus resultados, o que também pode limitar o impacto dos mesmos.

Em relação aos desenhos das pesquisas, houve uma predominância de trabalhos qualitativos (12 trabalhos), o que não é surpreendente, pois essa é a metodologia de pesquisa mais utilizada na área de Ensino de Ciências na América Latina nos últimos dez anos, conforme Greca e Santos (2011). De forma coerente com o tipo de metodologia privilegiada, os instrumentos de coleta mais usados foram os questionários, a observação (participativa e não participativa) e as entrevistas. Em todos os casos, os autores foram responsáveis pela elaboração da sequência didática, implementação, coleta e análise de dados, seguindo a tendência internacional. Embora seja uma prática habitual na área, é necessário começar a pensar os possíveis problemas que esse tipo de delineamento metodológico pode ter, relacionado com a possibilidade de estender os resultados das pesquisas, especialmente quando se leva em consideração as crenças dos professores acerca da ciência e das práticas em sala de aula, conforme nos afirma Abd-El-Khalick e Lederman (2000).

Finalizando essa caracterização, de um modo geral os trabalhos apresentam boa qualidade de redação, além da colocação do problema sob investigação e tratamento geral do mesmo, entretanto, do ponto de vista do rigor metodológico, tomando como parâmetro os padrões encontrados nas principais publicações internacionais da área de pesquisa em Ensino de Ciências – a saber, os critérios apropriados de validade e fidedignidade (tanto dos instrumentos quanto dos resultados), detalhamento e adequação das técnicas de coleta de dados, discussão das limitações do trabalho, delineamento adequado para investigar o problema com profundidade, dentre outros – os trabalhos brasileiros, de modo geral, estão aquém dos trabalhos internacionais, o que pode limitar a credibilidade dos resultados obtidos. Isso reforça os argumentos já apontados por alguns pesquisadores tais como Greca (2002) e Villani (1981) quanto às deficiências metodológicas frequentemente encontradas nas pesquisas dessa área no Brasil.

Síntese dos Resultados Relatados nos Trabalhos

Uma síntese dos resultados relatados nas conclusões dos trabalhos analisados, sistematizados na Tabela 6 será apresentada, a seguir, com vistas a trazer à tona as principais informações que tais pesquisas têm fornecido sobre a aplicação didática de HFC em salas de aula de física com a intenção de contribuir com os pesquisadores que atuam nessa área.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos em função dos objetivos propostos pelos respectivos trabalhos, ao implementar HFC em salas de aula de física. Na análise desses trabalhos foram detectados cinco objetivos distintos (porém, não excludentes entre si) a serem alcançados com o uso didático de HFC: melhorar a compreensão de conceitos; melhorar a visão dos alunos sobre a natureza da ciência; melhorar a qualidade da argumentação dos alunos; melhorar as capacidades metacognitivas dos alunos; e avaliar a receptividade dos alunos quanto ao uso de HFC nas aulas, bem como ao próprio material didático empregado na abordagem.

É de se notar que no cenário internacional analisado por Teixeira et al. (2009) os quatro primeiros objetivos foram idênticos, contudo, nesse cenário não foi detectado o objetivo de avaliar a receptividade em relação à HFC, em contrapartida foi detectado o objetivo de melhorar as atitudes dos alunos em relação à ciência a partir do uso didático de HFC.

Tabela 6 – Síntese dos resultados relatados nos trabalhos em função dos seus objetivos, ao usar HFC em salas de aula de Física

Trabalhos	Compreensão de conceitos	Natureza da Ciência	Argumentação	Metacognição	Receptividade à HFC
A	✔(*)				
B		✔			✔
C		✔(*)			
D	✔(*)			✔	✔
E		✔(*)		✔	✔
F		✔(*)			
G	✔(*)	✔(*)			X
H			✔(*)		
I					✔
J	✔				
K	✔				
L		✔			
M		✔(*)			
N	✔(*)				

Fonte: elaborada pelos autores deste trabalho.

Notas: ✔ – representa ocorrência de resultado positivo
✔ (*) – representa ocorrência de resultado positivo, porém com restrições ou limitações
X – representa ausência de resultado positivo

Dentre os 14 trabalhos analisados, 6 tiveram como objetivo avaliar os efeitos do uso da HFC na compreensão dos conceitos envolvidos na intervenção didática, são os trabalhos *A, D, G, J, K* e *N*. Todos relataram conclusões positivas, entretanto os trabalhos *A, D, G* referem-se a ocorrência de mudança conceitual, ou melhorias em relação à compreensão conceitual, de forma apenas parcial, posto que parte dos sujeitos não apresentou tais mudanças/melhorias mostrando resistências quanto às suas concepções iniciais.

O trabalho *N* relatou que a intervenção foi frutífera para caracterizar o estágio de compreensão dos alunos sobre força e movimento, contudo, de uma escala que vai desde a física aristotélica até a newtoniana, os alunos encontraram-se numa posição intermediária, denominada *física da força impressa*. Os trabalhos *J* e *K* avaliaram o uso da HC como organizador prévio, afirmando que isso levou os alunos a uma melhor compreensão dos conceitos tratados nos respectivos trabalhos.

Com isso, pode-se inferir que, embora a totalidade dos trabalhos focados nesse aspecto tenha relatado resultados favoráveis, há limitações quanto aos efeitos positivos do uso didático de HFC em termos de aprendizagem de conceitos. Não há plena convergência sobre a ocorrência de mudança conceitual, entretanto, deve-se considerar a esse respeito que há uma vasta literatura criticando a ideia de mudança conceitual, como em Mortimer (1995); Millar (1989); Matthews (1992ª); Marín (1999), o que significa que essa falta de convergência não pode ser associada exclusivamente à abordagem didática considerada – que usa HFC – senão à própria possibilidade de que tal mudança possa acontecer, seja qual for a abordagem de ensino empregada. Essa falta de convergência também foi detectada nos trabalhos que integram o cenário internacional segundo a análise de Teixeira et al. (2009).

Os trabalhos *B, C, E, F, G, L* e *M* procuraram investigar os efeitos da aplicação didática de HFC na compreensão sobre a natureza da ciência dos sujeitos das suas respectivas pesquisas. Excetuando os trabalhos B e L, que relataram resultados plenamente favoráveis, as conclusões mostraram uma resistência à mudança de determinadas concepções sobre a ciência pelos sujeitos. Isso não é novidade considerando o que tem apontado a vasta literatura sobre concepções acerca da natureza da ciência, a exemplo de Abd-El-Khalick e Lederman (2000a); Abell e Smith (1994); Bell et al. (2001), contudo, levando-se em consideração a literatura internacional sobre a influência da abordagem HFC nas concepções sobre a natureza da ciência, o cenário internacional apresenta um consenso quanto à eficácia desse tipo de abordagem para alcançar o objetivo de amadurecer tais concepções, conforme pode-se ver em Teixeira et al. (2009).

Vale lembrar que a maioria desses trabalhos internacionais foi realizada nos níveis fundamental e médio de ensino, e 6 (seis) dos 7 (sete) trabalhos brasileiros, logo acima referidos, foram desenvolvidos no nível superior de ensino – excetuando apenas o *B* que, como já foi dito, relatou

resultados plenamente favoráveis em propiciar concepções mais críticas sobre a ciência.

É justificável que os alunos, em nível mais avançado de ensino, tenham concepções mais resistentes à mudança, entretanto, isso levanta um problema sério: alunos em estágio mais amadurecido de instrução, mantendo suas concepções pouco amadurecidas sobre a ciência. Esse problema agrava-se mais ainda considerando que, em grande parte, são alunos de licenciatura em Física. Assim, chama-se a atenção para a necessidade de maiores intervenções de ensino com a preocupação de propiciar concepções mais críticas sobre a ciência aos alunos do Ensino Básico – no âmbito do qual parece ser mais fácil promover mudanças de concepções –, bem como promover maiores esforços para modificar as concepções de ciência dos futuros professores.

Apenas 1 trabalho, *H*, investigou o papel da abordagem HFC sobre a qualidade da argumentação dos alunos em relação à síntese newtoniana. Os resultados apontaram que as atividades desenvolvidas durante a intervenção didática com uso de HFC propiciaram a construção de uma argumentação coletiva satisfatória, embora com limitações. Isso corrobora o que a literatura especializada tem indicado sobre esse tema em termos dos seus efeitos positivos, conforme pesquisas realizadas por Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2006); Erduran et al. (2004); Albe (2007); Munford e Zembal-Saul (2002); Jiménez-Aleixandre et al. (2000a,b). O fato de ter sido encontrado apenas 1 trabalho sobre esse tema, similar ao que foi apontado na análise feita do cenário internacional por Teixeira et al. (2009), no qual foram encontrados apenas 2 (dois) trabalhos com a mesma temática, corrobora também o argumento de Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2006) de que a adoção de abordagens de ensino focadas na argumentação tem sido rara nas salas de aula do Ensino de Ciências. Isso aponta para a necessidade de que mais pesquisas sejam feitas para melhor avaliar o potencial dos recursos da HFC para promover a argumentação.

Em relação ao objetivo de alcançar efeitos metacognitivos nos sujeitos de pesquisa a partir do uso didático de HFC, apenas 2 (dois) trabalhos foram encontrados: o trabalho *D* relatou que a maioria dos alunos pareceu consciente da sua trajetória intelectual para se aproximar do conceito de conservação do movimento (foram capazes de analisar suas tarefas, procedimentos seguidos e resultados obtidos); o trabalho *E* relatou que houve uma conscientização dos alunos sobre suas concepções alternativas, bem como a necessidade de superá-las, e também sobre a relevância da resolução de problemas abertos. Isso remete ao potencial de abordagens de ensino orientadas por HFC para a metacognição, conforme argumentam Seroglou e Koumaras (2001), entretanto – similarmente ao que foi argumentado no parágrafo anterior – assim como ocorreu no cenário internacional, apenas 2 (dois) trabalhos foram encontrados, o que é insuficiente para se estender qualquer conclusão aqui, requisitando mais investigações sobre essa temática.

Por fim, 5 (cinco) trabalhos dedicaram-se a avaliar a receptividade dos alunos quanto à abordagem HFC e/ou ao material didático orientado por HFC empregados nas intervenções didáticas. 4 (quatro) deles, *B, D, E* e *I* indicaram resultados favoráveis em termos da boa receptividade dos alunos à abordagem e aos textos, o que é um indicador positivo, sobretudo porque todos os trabalhos analisados valeram-se de textos históricos em suas estratégias de ensino, contudo, não houve consenso sobre isso, visto que o trabalho *G* apontou que, apesar de algumas mudanças favoráveis em relação à introdução da nova metodologia de ensino (com uso da HFC), houve um grande apego dos sujeitos (alunos de licenciatura em Física) ao modelo tradicional de ensino e pouca perspectiva de mudança de postura na futura ação docente pelos mesmos.

Em se tratando de licenciandos em Física, isso pode ser explicado pela dificuldade, já apontada no presente trabalho, de se implementar propostas com abordagem contextual de ensino, a exemplo do que tratam os autores: Carvalho e Vannucchi (1996); Teixeira et al., (2009), bem como reflete a dificuldade para a formação de professores quanto a esse aspecto, conforme foi discutido por Matthews (1992).

Conclusão e recomendações para a área

O primeiro ponto que se pode destacar na conclusão deste trabalho é que esse tipo de revisão sistemática mostrou-se um instrumento bastante eficaz para se levantar o *estado da arte* da área de pesquisa referente ao uso didático de HFC no Ensino de Ciências (em particular, de Física) no que tange à literatura publicada em revistas especializadas nacionalmente conceituadas. A revisão aqui realizada permitiu, com o auxílio de tabelas e gráficos, traçar um panorama geral das pesquisas sobre essa temática e avaliá-las mais a fundo, fornecendo informações de maneira crítica, o que pode ser de valor para essa área de pesquisa.

O panorama geral mostrou que há uma comunidade relativamente numerosa de pesquisadores trabalhando com uso didático de HFC no Ensino de Ciências (em particular, de Física), no cenário brasileiro, e que o número de trabalhos publicados que foram encontrados no minucioso processo de seleção não difere largamente do número encontrado na seleção dos trabalhos internacionais apresentados por Teixeira et al. (2009) e, em ambos os cenários, há um crescimento substancial dessa publicação. Em contrapartida, o número de trabalhos que se ocupam de fato em investigar intervenções didáticas em salas de aula de Física com uso de HFC é, significativamente, pequeno, também nos dois cenários.

Há de se considerar que para essa área de pesquisa avançar, também qualitativamente, é necessário conhecê-la com suas virtudes, mas também com suas lacunas – e este trabalho apresenta-se para contri-

buir neste intento. Parece claro que uma dessas lacunas é a escassez de trabalhos empíricos, portanto a primeira e forte recomendação que se apresenta é que, a despeito das dificuldades de se implementar propostas didáticas orientadas por HFC, a comunidade de pesquisadores da área deve investir na realização de intervenções visando a implementar o uso de HFC no Ensino de Ciências (em particular de Física), tornando-as objetos de investigação, para que se possa ter uma melhor compreensão da sua eficácia em situações reais de sala de aula.

A análise feita a partir da caracterização geral dos trabalhos permitiu identificar que, a despeito da boa qualidade dos mesmos, os trabalhos brasileiros, em geral, têm deixado a desejar no que tange ao rigor metodológico, comparando com os padrões internacionais da área, o que pode limitar a credibilidade dos seus resultados. Isso leva à segunda e importante recomendação aos pesquisadores da área para que sejam ainda mais rigorosos quanto aos aspectos metodológicos das suas pesquisas e de seus orientandos, a fim de que as investigações suscitadas na primeira recomendação tragam resultados mais confiáveis.

A análise da caracterização geral e dos resultados relatados pelos 14 trabalhos selecionados para análise a fundo também permitiu fazer uma síntese de como a HFC tem sido implementada em salas de aula de Física no Brasil (além do único trabalho da revista espanhola selecionado).

Essa síntese pode contribuir como orientação geral para os professores e pesquisadores na tentativa de superar as dificuldades já mencionadas sobre a implementação didática de HFC no Ensino de Física. Essas formas de implementação podem ser resumidas nas 3 (três) seguintes vertentes, que não são excludentes entre si:

(1) objetivos a serem atingidos – A HFC tem sido usada no Ensino de Física com vistas a atingir diferentes – porém, não excludentes – objetivos: melhoria na compreensão de conceitos, melhoria da visão sobre a natureza da ciência, melhoria da qualidade da argumentação, melhoria das capacidades metacognitivas e avaliação da receptividade ao material didático;

(2) estratégias de ensino – A HFC tem sido usada no Ensino de Física por meio de duas estratégias distintas: o conteúdo de Física sendo apresentado de forma *integrada* com seu desenvolvimento histórico-filosófico; o conteúdo de Física sendo apresentado de forma desconectada com a HFC, sendo esta apresentada como um adicional, independente do conteúdo;

(3) materiais instrucionais – A HFC tem sido usada no Ensino de Física por meio de textos históricos (o que inclui uso de originais), reprodução de experimentos históricos e uso de histórias em quadrinhos sobre o trabalho dos cientistas.

A análise dos resultados dos trabalhos, apontou que 6 (seis), dentre 14 (catorze), avaliaram os efeitos do uso da HFC na compreensão dos conceitos apresentando conclusões favoráveis – em geral, em termos

de mudança conceitual – embora a maioria tenha apresentado também limitações na forma de resistência à tal mudança.

A metade dos trabalhos analisados dedicou-se a investigar a influência da HFC nas concepções sobre a natureza da ciência dos alunos, mostrando resultados positivos, contudo, apresentando também resistências à mudança de determinadas visões sobre a ciência. Resultados favoráveis também foram encontrados nos trabalhos que trataram de investigar os efeitos do emprego didático de HFC nos aspectos de argumentação e metacognição, a despeito de terem sido poucos os trabalhos incluídos na análise que abordaram tais pontos. Isso significa que se trata de aspectos potencialmente importantes merecendo, portanto, maior atenção na agenda da pesquisa em Ensino de Física informado por HFC.

Ainda, 5 (cinco) trabalhos avaliaram a receptividade dos alunos quanto à abordagem HFC e/ou ao material didático usado. Embora a maioria tivesse relatado resultados positivos em termos de boa receptividade, não houve consenso nesse ponto, uma vez que um dos trabalhos relatou um grande apego dos alunos ao modelo tradicional de ensino.

Por fim, a despeito do número limitado de trabalhos incluídos na análise final, a abrangência do levantamento feito, os critérios de seleção, exclusão e análise mais a fundo, tudo orientado pela preocupação de apresentar o *estado da arte* das pesquisas que investigam intervenções didáticas orientadas por HFC em salas de aula de Física, em termos das publicações em revistas especializadas nacionalmente bem conceituadas, levaram os autores a reputarem este trabalho como um confiável indicador da atual situação da referida área de pesquisa, apresentando recomendações que podem trazer importantes contribuições para a mesma.

Relação dos trabalhos selecionados para análise a fundo

A – HÜLSENDEGER, M. Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos. *Caderno brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, 377-391, 2004.

B – KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 22, n. 1, 36-70, 2005.

C – TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de Física. *Ciência e Educação*, v. 15, n. 3, 529-556, 2009.

D – HOSSON, C. Una controversia histórica al servicio de una situación de aprendizaje: una reconstrucción didáctica basada en diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo de Galileo. *Enseñanza de las Ciencias,* v. 29, n. 1, 115-126, 2011.

E – PEDUZZI, L. O. Q. Um texto de Mecânica em nível universitário básico: conteúdo programático e receptividade à seu uso em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 3, n. 1, 21-45, 1998.

F – MASSONI, N. T.; MOREIRA, M.A. O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuros professores de Física. *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 12, n. 1, 7-54, 2007.

G – GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. História da Ciência no Ensino de Física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 15, n. 1, 7-59, 2010.

H – TEIXEIRA, E. S.; SILVA, C. P.; FREIRE, O.; GRECA, I.A Construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupo. *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 15, n. 1, 61-95, 2010.

I – PEDUZZI, L. O. Q.; MOREIRA, M. A.; ZYLBERSZTAJN, A. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a História da Ciência numa sequência de conteúdos em Mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação Força e Movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física, v*. 14, n. 4, 239-246, 1992.

J – MAGALHÃES, M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da História da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 24, n. 4, 489-496, 2002.

K – DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação universal (um texto para o Ensino Médio). *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 26, n. 3, 257-271, 2004.

L – MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. "História e Epistemologia da Física" na Licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, 129-134, 2007.

M – TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR., O. Concepções de estudantes de Física sobre a Natureza da Ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do Ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências,* v. 1, n. 3, 111-123, 2001.

N – HARRES, J. B. S. Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v*. 2, n. 2, 89-101, 2002.

Referências

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students'Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching,* v. 37, n.10, p.1057-1095, dez. 2000.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: a Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education,* London, v. 22, n. 7, p. 665-701, jul. 2000a.

ABELL, S. K.; SMITH, D. C. What is Science? Preservice Elementary Teacher's Conceptions of the Nature of Science. *International Journal of Science Education,* London, v. 16, n. 4, p. 475-487, 1994.

ABI-EL-MONA, I.; ABD-EL-KHALICK, F. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. *School Science and Mathematics,* Texas, v. 106, n. 8, p. 349-361, dec. 2006.

ALBE, V. When Scientific Knowledge, Daily Life Experience, Epistemological and Social Considerations Intersect: Students' Argumentation in Group Discussions on a Socio-scientific Issue. *Research in Science Education,* New York, v. 38, n. 1, p. 67-90, jan. 2008.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003.

AZEVEDO, H. L.; MONTEIRO Jr., F. N.; SANTOS, T. P. dos; TANCREDO, B. N.; CARLOS, J. G.; NARDI, R. O uso do experimento no Ensino da Física: tendências a partir do levantamento dos artigos em periódicos da área

no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis, 2009.

BELL, R.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G.; MACCOMAS, W. F.; MATTHEWS, M. The Nature of Science and Science Education: a bibliography. *Science & Education,* Netherlands, v. 10, n.1-2, p. 187-204, 2001.

BENNETT, J.; LUBBEN, F.; HOGARTH, S.; CAMPBELL, B. Systematic reviews of research in Science Education: rigour or rigidity? *International Journal of Science Education,* London, v. 27, n. 4, p. 387-406. mar. 2005.

BENNETT, J.; LUBBEN, F.; HOGARTH, S. Bringing science to life: a synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education,* v. 91, n. 3, p. 347-370, may. 2007.

CARLOS, J. G.; MONTEIRO JR., F. N.; AZEVEDO, H. L.; SANTOS, T. P.; TANCREDO, B. N. Análise de artigos sobre atividades experimentais de Física nas Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009. Florianópolis, *Atas*... 2009.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. *Investigações em Ensino de Ciências,* Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 3-19, mar. 1996.

DIOS, J. G.; SANTAMARÍA, A. B. Revisión sistemática y metanálisis (I): conceptos básicos. *Evidencias em Pediatría*. v. 3, n. 4, p. 107, dec. 2007.

ERDURAN, S.; SIMON, S.; OSBORNE, J. TAPing into argumentation: developments in the application of Toulmin's argument pattern for Studying Science Discourse. *Science Education,* v. 88, n. 6, p. 915-933, nov. 2004

FREIRE JR., O.; TENÓRIO, R. M. A Graduate Programme in History, Philosophy and Science Teaching in Brazil. *Science & Education*, Netherlands, v. 10, n. 6, p. 601-608, nov. 2001.

GRECA, I. Discutindo aspetos metodológicos da pesquisa em Ensino de Ciências: algumas questões para refletir. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 2, n. 1, p. 73-82, jan./abr. 2002.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Research Methods in Science Education in Latin America: How we are Carrying out Research in this Last Decade. *The World of Science Education.* 2011 (no prelo).

HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. James; WATSON, F. G. *Project Physics Course.* New York: Holt, Rinehart e Winston, 1970. Tradução portuguesa *Projecto Física*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.; MUÑOZ, C; CUADRADO, V. Expertise, argumentation and scientific Practice: a Case Study about Environmental Education in the 11th Grade. In: ANNUAL MEETING OF THE NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING (NARST), 2000, New Orleans, 2000a (ERIC Document Reproduction Service nº ED 439 960).

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.; RODRÍGUEZ, A.; DUSCHL, R. "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education,* v. 84, n. 6, p. 757-792, nov. 2000b.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and Philosophy of Science Through Models: Some Challenges in the Case of 'the Atom'. *International Journal of Science Education,* London, v. 22, n. 9, p. 993-1009. sep. 2000.

LECOMPTE, M. D.; GOETZ, J. P. Problems of reliability and validity in ethnographic research. *Review of Educational Research,* v. 52, n. 1, p. 31-60, sep. 1982.

LINJSE, P. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, London, v. 26, n. 5, p. 537–554, apr. 2004.

MARÍN, N. Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias,* Barcelona, v. 17, n. 1, p. 80-92, mar. 1999.

MATTHEWS, M. History, Philosophy and Science Teaching: The Present Rapprochement. *Science & Education,* Netherlands, v. 1, n. 1, p. 11-47, 1992.

MATTHEWS, M. Constructivism and Empiricism: an incomplete divorce. *Research in Science Education,* v. 22, n. 1, p. 299-307, 1992a.

MATTHEWS, M. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge. 1994.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de Física 1.* 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997. 392p.

MILLAR, R. Constructive Criticisms. *International Journal of Science Education*, London, v. 11, n. 5, p. 587-596, 1989.

MORTIMER, E. F. Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Science & Education,* Netherlands, v. 4, n. 3, p. 265-287, jul. 1995.

MUNBY, H. Educational Research as Disciplined Inquiry: Examining the Facets of Rigor in Our Work. *Science Education*, v. 87, n. 2, p. 153-160, 2003.

MUNFORD, D.; ZEMBAL-SAUL, C. Learning Science Through Argumentation: Prospective Teachers' Experiences in an Innovative Science Course. In: ANNUAL MEETING OF THE NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING (NARST), 2002, New Orleans, 2002 (ERIC Document Reproduction Service nº ED 465 520).

NARDI, R. (Org.) *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil:* alguns recortes. São Paulo: Escrituras Editora. 2007.

PEDUZZI, L. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, Maurício (Org.). *Ensino de Física:* conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. p. 151-170.

ROBINSON, J. T. Philosophical and Historical Bases of Science Teaching. *Review of Educational Research.,* v. 39, n. 4, p. 459-471, oct. 1969.

RUTHERFORD, F. Fostering the History of Science in American Science Education. *Science & Education,* Netherlands, v. 10, n. 6, p. 569-580, nov. 2001.

RUTHERFORD, F.J.; AHLGREN, A. *Ciência para Todos*. Tradução de Catarina Caldeira Martins. Lisboa: Gradiva. 1995. Título original: Science for All Americans.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. *Science & Education,* Netherlands, v. 10, n. 1-2, p. 153-172, jan./mar. 2001.

SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências:* subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2006.

SILVA, C. C. (Org.) *1ª Conferência Latino-americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (IPHST-LA),* Maresias-SP, 2010, Caderno de Resumos, 2010.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science and Education,* Netherlands, 2009. DOI 10.1007/s11191-009-9217-3.

VILLANI, A. Consideracoes sobre a Pesquisa em Ensino de Ciência I – a Interdisciplinaridade. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* São Paulo, v. 3, n. 3, p. 68-88, set. 1981.

WHITE, R. T.; ARZI, H. J. Longitudinal Studies: Designs, Validity, Practicality, and Value. *Research in Science Education,* v. 35, n. 1, 137-149, mar. 2005.

HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE FÍSICA: UMA ANÁLISE META-HISTORIOGRÁFICA

CAPÍTULO 2

Rilavia Almeida de Oliveira
Ana Paula Bispo da Silva

Introdução

A necessidade de contextualização do ensino está clara, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) e PCN+, como podemos perceber nas habilidades esperadas para os estudantes de Física:

> Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. (BRASIL, parte III, 2000, p. 24).

Na busca de meios para se contextualizar o ensino e mostrar o processo de transformação da Ciência, e em especial da Física, História da Ciência (HC), tem sido indicada como uma estratégia didática que pode trazer benefícios em vários níveis. A pesquisa, nesse sentido, é ampla, contando com uma vasta bibliografia, tanto nacional quanto internacional, a exemplo de Villani, Pacca e Freitas, (2009); Forato (2009).

De uma maneira geral, os argumentos para a utilização da HC são, entre outros, que: humaniza o conteúdo ensinado; favorece uma melhor compreensão dos conceitos científicos, pois os contextualiza e discute seus aspectos obscuros; ressalta o valor cultural da ciência; enfatiza o caráter mutável do conhecimento científico; e, permite uma melhor compreensão do método científico (MATTHEWS, 1995; HÖTTECKE, SILVA, 2011).

As pesquisas apontam que uma abordagem histórica no Ensino de Ciências permite aos estudantes adquirirem um conhecimento da Natureza da Ciência (NDC), o que, conforme as concepções consideradas mais adequadas atualmente, permitiria a formação de um cidadão crítico, apto, inclusive, para a tomada de decisões tecno-científicas (ACEVEDO et. al., 2005; PRAIA, GIL-PÉREZ e VILCHES, 2007).

Em trabalho anterior (OLIVEIRA; SILVA, 2011), buscamos nos anais dos eventos de Ensino de Física – Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), as pesquisas sobre HC e NDC que haviam se materializado em intervenções em sala de aula. O resultado não foi muito satisfatório, já que grande parte dos traba-

lhos concentrou-se nas discussões teóricas sobre as vantagens, desvantagens e possibilidades da HC e NDC, mas poucos fizeram intervenção em sala de aula. Em continuidade, questionamos com qual enfoque a história vem sendo utilizada nos trabalhos que foram apresentados nos eventos.

Dentro das discussões atuais da área, a história pode servir para a contextualização dos conceitos, enfocando a perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), destacando a visão sociológica. Muitas vezes, tal enfoque é caracterizado como *Externalista*. Ou então a história é utilizada apenas dentro do desenvolvimento dos conceitos. Muitas vezes, esse enfoque é caracterizado como *Internalista*. Tanto o primeiro quanto o segundo enfoques são enfatizados a partir do ponto de vista e da formação do professor/pesquisador que faz uso da história.

O objetivo deste trabalho é identificar qual enfoque (Internalista ou Externalista) vem sendo dado nas pesquisas em que a abordagem histórica é efetivamente relacionada à sala de aula na forma de intervenções. Com esse intuito, analisamos os trabalhos dos eventos EPEF e SNEF no período entre 2000 e 2009 que afirmaram ter feito a intervenção utilizando uma abordagem histórica, do ponto de vista do tipo de história que vem sendo empregada, nos casos em que houve a aplicação prática.

Definindo as abordagens Internalista e Externalista da História da Ciência: as várias posições de historiadores e filósofos

Entre os que defendem a inclusão da História da Ciência (HC) no ensino, uma das justificativas é a de que a abordagem histórica permitiria incluir questões sobre a Natureza da Ciência (NDC), porém, tanto para a HC quanto para a NDC, há diferentes concepções sobre seus significados e abrangência, o que leva a interpretações discordantes. Um dos aspectos da HC, destacado pelos historiadores e filósofos, são suas várias abordagens, que, uma vez adotadas no ensino, podem influenciar no entendimento da NDC pelos estudantes. É neste sentido que este trabalho pretende fazer uma discussão acerca das abordagens Internalista e Externalista da HC, para, posteriormente, entender sua relação com o ensino e as concepções sobre a NDC levadas para a sala de aula.

Baseados em Martins (2004), vamos, primeiramente, fazer uma distinção entre história e historiografia. Segundo este autor, história pode ser caracterizada como um encadeamento de atividades humanas ocorridas ao longo do tempo; já a historiografia é produto da atividade dos historiadores (MARTINS, 2004). Assim, a historiografia procura refletir sobre os momentos históricos, mas não é uma simples descrição desses, pois ao refletir acerca da realidade histórica, cada historiador agrega-lhe um caráter discursivo novo.

A historiografia da ciência analisa os episódios históricos da ciência, e tem como ponto de partida documentos e fatos relacionados à ciência, porém vale ressaltar que essa análise histórica está carregada de crenças e filosofias do historiador, pois a leitura que ele faz dos documentos pode ser direcionada pela sua própria formação. Logo, surgem as várias abordagens historiográficas presentes na HC, dependentes do fato dos historiadores basearem-se em fatores internos ou externos do desenvolvimento científico para fundamentar sua análise histórica, o que leva ao que chamamos de abordagem Internalista ou Externalista da HC.

A definição entre o que é abordagem Internalista ou Externalista da HC não é um tema simples e possui diferentes pontos de vista. Assim, tentando seguir uma ordem cronológica, apresentamos alguns pontos de vista sobre o significado das abordagens Internalista e Externalista da História da Ciência. Não se trata de uma revisão bibliográfica, já que muitas das principais referências sobre o assunto não puderam ser lidas, mas apenas tentamos situar algumas considerações relevantes que permitem distinguir as duas abordagens.

Uma distinção clara entre as abordagens aparece em Kuhn (1962 apud OLIVEIRA, 2008) que defendia que os fatores sociais influenciariam nas ideias aceitas atualmente pela ciência, o que o caracteriza como um dos primeiros seguidores da abordagem Externalista da HC. Kuhn define a história externa da ciência, como uma história que se interessa pelo papel dos fatores não intelectuais, particularmente institucionais e socioeconômicos, no desenvolvimento científico. Segundo ele, essa abordagem histórica sofreu grande resistência dos praticantes da história interna, que consideraram a história externa uma ameaça a objetividade e racionalidade da ciência (OLIVEIRA, 2008), entretanto, a posição de Kuhn foi muitas vezes criticada por parecer extremamente relativista (CHALMERS, 1993).

Contemporâneo de Kuhn, Lakatos (1987) afirma que qualquer reconstrução racional (interna) da HC deve ser complementada com uma história externa (sociopsicológica), que explica os fatores não racionais presentes na construção do conhecimento científico. Ele afirma que a historiografia da ciência, seja ela interna ou externa, é que determina os problemas que serão analisados pelo historiador. Lakatos (1987) apresenta a abordagem Internalista como primária e a Externalista como secundária, já que as problemáticas da historiografia externa são definidas a partir da historiografia interna. Tal afirmação vem do fato que o aspecto racional do desenvolvimento científico só pode ser explicado por meio da própria lógica do desenvolvimento científico.

Qualquer que seja o problema que o historiador da ciência deseje resolver acerca do desenvolvimento científico, ele deve estudar primeiro uma boa parcela da história interna da ciência (LAKATOS, 1987). Segundo Lakatos (1987), a maioria das teorias sobre o desenvolvimento da ci-

ência apresenta esse conhecimento sem fazer conexão com o meio social em que foi desenvolvido, apresentando que os fatores que determinam a aceitação de uma teoria não dependem das crenças e da personalidade dos cientistas. Portanto, tais fatores subjetivos não têm nenhuma importância para a história interna. Assim, ele considera que o historiador Internalista, ao elaborar sua teoria, omite tudo que seja irracional, à luz de sua teoria de racionalidade.

O debate acerca da abordagem Internalista e Externalista da HC é muito amplo e complexo. Um exemplo dessa complexidade é que essas abordagens são entendidas sob diferentes perspectivas, dependendo do historiador, ou filósofo que as esteja estudando. Sendo assim, a abordagem Externalista também é algumas vezes interpretada como abordagem sociológica, abordagem sociopsicológica, História da Ciência marxista, abordagem explícita etc. Já a abordagem Internalista, por sua vez, é interpretada como abordagem racional, abordagem implícita etc.

Barberousse et al. (2000) descrevem que a abordagem sociológica da ciência surgiu a partir das ideias de Kuhn, uma vez que, conforme já observado, Kuhn pressupunha que na evolução da ciência deve-se considerar a maneira como os cientistas trabalham e estão organizados em comunidades científicas.

Ainda segundo esses autores, essa visão sociológica da ciência defende que antes de desenvolver qualquer trabalho científico, os pesquisadores devem fazer um estudo histórico do conhecimento científico, ou seja, antes de fazer ciência, deve-se fazer HC. Assim, os autores defendem uma abordagem histórica que analise as atividades científicas passadas, como também a própria ciência, ou seja, eles são contrários a uma divisão explícita entre as abordagens Internalista e Externalista, sendo favoráveis a uma junção dessas duas abordagens.

A dicotomia extrema entre as duas abordagens implicaria em considerar que a ciência progride *apenas* devido às suas necessidades internas. No extremo oposto, haveria uma abordagem que considera *apenas* as ações e motivações dos cientistas no estudo da produção do conhecimento científico, sem levar em conta seus conteúdos (BARBEROUSSE et al., 2000).

Outra concepção sobre a abordagem sociológica da ciência é a de que ela interpreta as atividades dos cientistas como uma atividade para obter poder e reconhecimento (MARTINS, 2000). Ao defender a inclusão da HC no ensino que retrate aspectos sociais, filosóficos, metodológicos e conceituais da ciência, poderá ocorrer uma divergência, pois os historiadores de ciência com formação sociológica não estão dispostos a desenvolver uma abordagem da HC que inclua aspectos conceituais e filosóficos da ciência.

> Os defensores da abordagem Externalista defendem que ela é a única abordagem válida, já que para eles interpretações psicológicas são inaceitáveis, análises conceituais são tolas; a epistemologia deveria dar lugar à análise social da prática científica e a ciência não tem nenhum valor especifico. (MARTINS, 2000, p. 48).

Martins (2000) defende que o estudo do contexto social em que a ciência se desenvolveu é muito importante para desmistificar alguns mitos acerca dos cientistas e de seu trabalho, entretanto afirma que não é válido limitar toda a HC à sociologia, já que uma análise puramente sociológica não consegue diferenciar entre inferências válidas e inválidas, fundamentação válida ou inválida, e assim não consegue proporcionar as normas e critérios que os cientistas precisam para guiar sua pesquisa.

Diferentes problemas históricos exigem métodos diferentes, ou seja, a análise histórica a ser desenvolvida depende da problemática a ser analisada, devendo-se considerar uma pluralidade de abordagens na HC, sem que nenhuma domine as demais (MARTINS, 2000; LAKATOS, 1987). Por exemplo, ao perguntar *por que* a maioria dos cientistas, em uma determinada época, *aceitou* ou *rejeitou* uma teoria ou hipótese, a pesquisa histórica será baseada em *análises de fatores sociais da ciência*, entretanto, ao questionar se uma determinada teoria estava *bem fundamentada de acordo com seu contexto científico*, a pesquisa histórica deverá se basear em *fatores internos da ciência*, ou seja, se a *metodologia* empregada era a mais adequada (MARTINS, 2005).

Outra interpretação para a abordagem Externalista, ainda vinculada aos estudos sociológicos, está ligada às concepções políticas, como a HC marxista. De acordo com a HC marxista, a ciência é determinada a partir das relações sociais, relacionada a interesses econômicos e valores ideológicos (MARTINS, 2001). Essa abordagem começou a surgir a partir da década de 1960, analisando aspectos sociológicos inerentes à dinâmica interna da ciência.

Ao interpretar a ciência, os estudos sociológicos compreendem diferentes perspectivas, como: (1) o estudo do desenvolvimento institucional da ciência em períodos e locais específicos; (2) análise das relações entre o desenvolvimento institucional da ciência e aspectos sociais de uma dada cultura; (3) estudo da influência mútua existente entre o desenvolvimento da ciência e a sociedade em que esta ciência desenvolve-se; e (4) estudo de como a ciência afeta a vida social, política e econômica.

A análise sociológica da ciência propicia o entendimento de que a ciência não se desenvolve fora de um contexto social, como também revela, em textos científicos, mensagens carregadas de valores, o que acaba, pela hegemonia da sociologia na ciência, levando a perdas de outros aspectos da pesquisa em HC (MARTINS, 2001). Uma análise histórica completa implica recorrer tanto às considerações científicas, como também a fatores extracientíficos, já que uma abordagem que exclui totalmente um desses fatores no estudo da ciência empobrece a compreensão sobre a natureza do conhecimento científico, porém, em tal análise é necessário evitar-se o anacronismo, seja ele de cunho sociológico ou acadêmico.

A partir do século XX, com a descoberta de documentos que ligavam o estudo da ciência à filosofia mística no nascimento da ciência moderna,

houve uma grande mudança na maneira de como escrever História da Ciência, havendo uma integração de áreas como Filosofia, Sociologia e História da Ciência. Com esse processo de mudança, surgia a necessidade de os documentos históricos serem estudados contextualizando a HC com saberes até então desconsiderados (FORATO, 2008).

Assim, para Forato (2008), na nova perspectiva historiográfica, não há mais essa dicotomia Internalismo/Externalismo. Nessa nova perspectiva historiográfica, qualquer análise em HC deve levar em conta o contexto, assim os *aspectos externos à ciência* devem ser contemplados, mesmo figurando implícitos em um texto que trate de teorias, leis ou desenvolvimentos conceituais.

Forato (2008) também defende que dependendo da pergunta que se deseja responder, o historiador irá dar uma maior atenção a aspectos científicos ou sociais, mas o ideal é que ambos sejam contemplados. Por outro lado, ela aponta a importância das fontes secundárias e do trabalho coletivo como ferramentas para a construção de uma versão mais objetiva para a História da Ciência.

A proposta historiográfica de contextualizar os aspectos presentes na obra de um autor, analisando as fontes primárias, dentro de sua cultura, permite uma melhor compreensão de um determinado período histórico (FORATO, 2008), entretanto, é de grande importância que uma narrativa histórica não efetue apenas uma abordagem social do período, mas, além disso, discuta como as ideias daquele período foram sofrendo modificações devido a influências de diversos períodos, como também que haja uma discussão sobre seus valores intrínsecos.

A discussão anterior permite adotarmos nossa própria visão do que seria uma abordagem Internalista e Externalista. Assim, entendemos como abordagem histórica Internalista aquela que analisa o conteúdo conceitual da ciência, e como abordagem Externalista aquela que tem como base a análise dos fatores extracientíficos presentes no desenvolvimento do conhecimento científico. Acreditamos que a presença de uma abordagem histórica Internalista ou Externalista da ciência depende da problemática a ser analisada. Por fim, devemos ainda ter cuidado para não cometermos o anacronismo, ou seja, além de desenvolver uma abordagem extremamente Internalista ou Externalista, analisarmos os fatos e conceitos do passado a partir de fatos e leis aceitas atualmente.

Implicações da abordagem Sociológica para o Ensino de Ciências

O desenvolvimento do pensamento crítico e criativo está entre os principais objetivos para uma educação científica de qualidade. O processo de ensino-aprendizagem deve preparar o estudante para lidar com as constantes inovações das ciências e tecnologias, além de levá-lo a compreender a articulação entre os conteúdos científicos e seus usos sociais. Mais do que a preparação acadêmica do aluno centralizada apenas em conteúdos especializados das ciências, busca-se a compreensão contextualizada desses saberes, inscritos na complexidade da vida humana (BRASIL, 2000). Tais argumentos estão bem caracterizados nas áreas temáticas dos eventos de Pesquisa em Ensino de Física, como veremos no próximo item.

A inclusão da HC na educação científica vem sendo recomendada como um recurso para uma formação de qualidade, especialmente visando ao ensino e aprendizagem de aspectos epistemológicos da construção da ciência. Argumenta-se a importância de se aprender sobre o que caracteriza a ciência como um empreendimento humano, e defende-se a HC como uma estratégia pedagógica adequada para discutir certas características da NDC (ALLCHIN, 1999; ABD-EL-KHALIC e LEDERMAN, 2000).

Há várias abordagens possíveis para a NDC que envolvem diferentes enfoques da construção do conhecimento científico. Assim, ao se almejar o ensino e aprendizagem da NDC é necessário especificar a abordagem a ser utilizada, pois ela pode ser embasada em perspectivas filosóficas, históricas ou sociológicas. Essa distinção pode ser estabelecida a partir do tipo de questões propostas e no perfil das respostas dadas (FORATO, 2011), entretanto, é preciso tomar cuidado, pois as visões que professores possuem sobre o trabalho científico conduzem sua prática educativa, refletindo implícita ou explicitamente suas concepções sobre a NDC que serão difundidas no Ensino de Ciências (GIL-PÉREZ, 2001).

Dessa maneira, é bastante relevante a preocupação voltada para as narrativas históricas, presentes no ambiente escolar, e as visões que elas podem promover sobre os processos de construção da ciência.

Nesse sentido, a discussão sobre as abordagens Internalista e Externalista da HC é muito importante para o ensino de ciências, já que essas abordagens implicarão na forma como a HC será introduzida no ensino, e dessa forma influenciarão também na compreensão que os estudantes irão adquirir da NDC. É nesse sentido que apresentamos a opinião de alguns historiadores e filósofos acerca da presença das abordagens Internalista e Externalista da HC no Ensino de Ciências.

Cudmani (2001) enfatiza que apenas a racionalidade poderia ajudar a compreender melhor o mundo e a elaborar um futuro no qual seja possível viver, já que, segundo ela, foram esses valores de objetividade, precisão e

racionalidade que deram à educação científica o potencial de instrumentar o homem para interpretar e intervir no mundo em que vive. Por fim, afirma que o relativismo implícito na abordagem sociológica põe em questionamento tanto a ciência, como a própria validade do Ensino de Ciências.

Greca e Freire (2004) introduzem que a contribuição da HC no Ensino de Ciências é amplamente difundida, mas afirmam que existe uma enorme crítica por parte dos historiadores da ciência sobre as correntes da história social e da sociologia da ciência, em que se defende que essas correntes são prejudiciais ao Ensino de Ciências, por serem consideradas exemplos de relativismo e idealismo. Greca e Freire (2004), assim como Martins (2001), defendem que a história social da ciência, ajuda na compreensão da ciência, bem como de seu processo de construção, além de contribuir para as pesquisas em educação em ciências.

É possível encontrar subsídios nas análises pós-modernas para não se difundir no Ensino de Ciências uma visão aproblemática e descontextualizada do conhecimento científico, o que implica, necessariamente, em assumir que a postura sociológica da ciência contribui para um melhor relacionamento entre ciência e sociedade (GRECA; FREIRE, 2004).

Greca e Freire (2004), diferentemente de Cudmani (2001), afirmam que a sociologia da ciência, apesar de algumas problemáticas em seus pressupostos, pode contribuir para a compreensão da ciência e de seus processos históricos, como também para a formação de cidadãos mais ativos na sociedade. Logo, o Ensino de Ciências deve abordar questões mais amplas que aquelas fornecidas pela própria história interna da ciência.

Outro ponto a destacar é o cuidado em não reproduzir narrativas anacrônicas da HC no Ensino de Ciências, pois elas levam ao ensino uma visão equivocada da NDC, além de se constituírem um desestímulo ao pensamento crítico. Como afirma Forato (2011), nas narrativas históricas anacrônicas:

> São ignorados todos os fatores conceituais da ciência e os elementos contextuais de cada cultura que estiveram envolvidos no desenvolvimento de um determinado conhecimento científico. Inúmeros fatores, como, por exemplo, o papel dos erros e das controvérsias, a contribuição do debate entre diferentes teorias, os diversos pensadores que trabalharam no assunto, a influência de fatores sociais, políticos, econômicos, ou quaisquer outros que possam ter contribuído para o desenvolvimento da ciência, são simplesmente ignorados. (FORATO, 2011, p. 13).

Por fim, queremos destacar a importância da inclusão da HC no Ensino de Ciências, e especialmente na formação dos professores de ciências, na medida em que um conhecimento da HC permite uma melhor compreensão do conhecimento científico, bem como da NDC.

A inclusão da HC na formação inicial e continuada dos professores proporciona o desenvolvimento do pensamento crítico dos futuros professores.

Assim como conhecer alguns dos pressupostos da historiografia da ciência pode auxiliá-los nos usos da HC no Ensino de Ciências, na medida em que o conhecimento desses permite uma leitura mais crítica das narrativas históricas presentes no Ensino de Ciências. Desse modo, não estaremos contribuindo para a difusão de visões distorcidas da NDC no Ensino de Ciências.

Como mencionamos, torna-se muito importante a inclusão da HC no Ensino de Ciências, para que assim os estudantes possam entender que a ciência não se desenvolve fora do contexto social, mas como resultado das necessidades deste. Então, faz-se necessário que a História da Ciência aborde o contexto social da construção da ciência no ensino, entretanto, não devemos reduzir a História da Ciência apenas a abordagem sociológica, ou seja, deve haver um consenso entre a abordagem Internalista e Externalista da HC, de modo a proporcionar um melhor entendimento da NDC aos estudantes.

Análise dos trabalhos dos eventos

A primeira parte desta análise consistiu na busca, nos anais dos eventos Simpósio de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) de 2000 a 2009, dos trabalhos que envolviam História da Ciência e Natureza da Ciência. Tais anais estão quase todos disponíveis na página da SBF. Localizamos os anais do EPEF – 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 e do SNEF – 2001, 2003, 2005, 2007, 2009. Vale lembrar que não consideramos na nossa análise o SNEF 2001, uma vez que só há pôsteres (resumos) e estamos interessadas em trabalhos completos.

Áreas temáticas presentes nos eventos

Nos eventos, a divisão em áreas temáticas busca abranger todo o estado da arte da pesquisa em Ensino de Física. Assim, podemos perceber no SNEF que as áreas: *Didática da Física: Materiais, Métodos, Avaliação; Formação do Professor de Física; Educação Científica e Formação profissional; Alfabetização Científica e Tecnologia e Ensino de Física; Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física; Tecnologia da Informação e Ensino de Física; Interdisciplinaridade e Ensino de Física; Política para o Ensino de Ciência e de Tecnologia; Arte, Cultura e Educação Científica; e Divulgação Científica* estavam presentes em todos os eventos pesquisados. Entretanto, algumas delas mudaram de nome ao longo dos anos na medida em que foram incorporando novos aspectos. Existem também áreas que não estavam em todos os eventos pesquisados, mas apareciam pontualmente em um ano ou outro.

Com relação ao EPEF, ao longo dos anos pesquisados é possível perceber que as seguintes áreas estavam presentes em todos os anos pesquisados: *Filosofia, História e Sociologia da Ciência e o Ensino de Física; Didática, currículo e avaliação no Ensino de Física; Ensino-aprendizagem de física; Formação e prática profissional de professores de física; Ciência, Tecnologia e Sociedade e o Ensino de Física*.

Assim, como ocorreu no SNEF, no EPEF essas áreas também foram mudando de nome ao longo dos anos, bem como existem áreas que aparecem em um ano ou outro, entretanto, existe uma particularidade no EPEF 2000: as áreas temáticas estão divididas em subáreas, como por exemplo, a área relacionada à HFC é denominada de *Questões históricas, filosóficas e epistemológicas* e constitui-se uma subárea de *Currículo e Inovação Educacional*. A relação das áreas nos respectivos eventos e o número de trabalhos inseridos está detalhada nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Relação do número de trabalhos publicados nas áreas temáticas do SNEF

SNEF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	Total
2003	129	63	22	34	27	33	39	0	9	35	--	--	--	391
2005	171	64	10	21	24	59	35	2	11	35	41	13	6	492
2007	78	40	10	15	25	39	21	4	5	17	8	19	4	285
2009	54	44	--	11	10	13	14	3	3	10	10	6	8	186
Total:	**432**	**211**	**42**	**81**	**86**	**144**	**109**	**9**	**28**	**97**	**59**	**38**	**18**	**1354**

Área I: Didática da Física: materiais, métodos, estratégias e avaliação
Área II: Formação do professor de Física
Área III: Educação científica e formação profissional
Área IV: Alfabetização científica e tecnologia e Ensino de Física
Área V: Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física
Área VI: Tecnologia da Informação e Ensino de Física
Área VII: Interdisciplinaridade e Ensino de Física
Área VIII: Política para o Ensino de Ciência e de Tecnologia
Área IX: Arte, cultura e educação científica
Área X: Divulgação científica
Área XI: O Ensino de Física para a graduação (Física, Engenharias, Química, Biologia, Arquitetura, Arte)
Área XII: Física Moderna e Contemporânea e a atualização curricular
Área XIII: Ensino de Física e estratégias para portadores de necessidades especiais[1]

Fonte: elaborada pelas autoras deste trabalho.

[1] Esta área temática corresponde ao que atualmente adotamos como *Ensino de Física e estratégias para pessoas com deficiência.*

Tabela 2 – Relação do número de trabalhos publicados nas áreas temáticas do EPEF

EPEF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	Total
2000	26	7	11	7	4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	55
2002	--	9	--	--	--	**15**	2	15	**2**	3	--	--	--	--	--	--	--	46
2004	--	12	--	--	3	--	12	24	--	3	6	3	3	--	--	--	--	66
2006	--	27	--	--	7	--	14	22	--	11	9	--	8	6	1	3	--	108
2008	--	28	--	--	8	--	16	36	--	4	8	--	--	8	3	8	4	123
Total:	**26**	**83**	**11**	**7**	**22**	**15**	**44**	**97**	**2**	**21**	**23**	**3**	**11**	**14**	**4**	**11**	**4**	**398**

Área I: Ensino-aprendizagem-avaliação: espaços formais e não-formais
Área II: Formação do professor de Física
Área III: Currículo e inovação educacional
Área IV: Balanço crítico das pesquisas e novas demandas de investigação
Área V: Ciência, Tecnologia e Sociedade e Ensino de Física
Área VI: Ensino-Aprendizagem
Área VII: Filosofia, História e Sociologia da Ciência no Ensino de Física
Área VIII: Ensino-Aprendizagem de Física
Área IX: Ensino-Aprendizagem de Física e Ciências, Tecnologia e Sociedade
Área X: Didática, Currículo e Avaliação no Ensino de Física
Área XI: Tecnologia da Informação e Instrumentação no Ensino de Física
Área XII: Alfabetização e Letramento em Física e Tecnologia
Área XIII: Linguagem e Cognição no Ensino de Física e Tecnologia
Área XIV: Divulgação e comunicação de Física em espaços formais e não formais;
Área XV: Políticas Públicas e Ensino de Física
Área XVI: Questões teórico-metodológicas da pesquisa em Ensino de Física
Área XVII: Cognição, alfabetização e letramento em Física

Fonte: elaborada pelas autoras deste trabalho.

Feito o reconhecimento destas áreas, procuramos em todas elas os trabalhos cujo título trazia aspectos que clarificava o uso da HC, pois podemos perceber que existiam trabalhos que tratavam de HC em outras áreas temáticas e não apenas na área de *Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física*.

Análise dos trabalhos envolvendo HC e NDC

Seguimos, ao ter o material em mãos, para uma análise preliminar dos trabalhos contidos nos anais. Adotamos como critérios para eliminação os mesmos utilizados por Teixeira, Greca, e Freire (2009) em suas pesquisas. Tais critérios consistiam na avaliação do título, resumo e palavras-chave, que deveriam conter elementos os quais permitiam sua correlação com os trabalhos que eram objeto da pesquisa (OLIVEIRA; SILVA, 2011).

Este trabalho foi realizado em duas etapas: a primeira considerando apenas o título e qualquer uma das palavras-chave, o que nos levou a 58 de 125 trabalhos presentes nas áreas temáticas; a segunda análise verificou se no resumo desses trabalhos havia elementos que caracterizavam uma possível intervenção, chegando aos 26 que são o objeto desta pesquisa.

As duas análises foram feitas novamente com um intervalo de um mês cada uma, pelas duas autoras, independentemente, encontrando o mesmo resultado. Assim, do total de 125 trabalhos analisados nas áreas temáticas envolvendo História, Filosofia, Sociologia e Ensino de Física, verificamos que 26 (vinte e seis) alegaram ter feito uma intervenção prática[2] utilizando HFC. No presente trabalho, fizemos uma análise desses 26 (vinte e seis) trabalhos, buscando verificar qual abordagem histórica utilizada nas intervenções[3].

Para análise de qual abordagem histórica foi utilizada, estamos nos baseando no material histórico utilizado nas intervenções. Quando o artigo não traz o material utilizado, tentamos identificar a abordagem histórica que foi utilizada a partir do direcionamento das questões feitas pelos autores nas entrevistas e questionários aplicados aos alunos. Nesse caso procuramos identificar se as questões levadas pelos autores aos estudantes abordam temas como a influência do contexto social no desenvolvimento científico, ou se as questões estão direcionadas mais a aspectos referentes à episteme do conhecimento científico.

Para análise e categorização das intervenções com relação à abordagem histórica utilizada, consideramos (I) intervenção prática que levou para sala de aula uma abordagem Externalista da HC aquelas que por meio do material histórico utilizado, ou por meio de entrevistas ou questionários aplicados aos alunos demonstraram que levaram ao Ensino de Física aspectos extracientíficos presentes no desenvolvimento do conhecimento científico, ou seja, apresentaram o contexto social, cultural, político ou religioso em que determinado *conh*ecimento científico foi desenvolvido.

Por outro lado, consideramos (II) abordagem Internalista da HC aquela que discutiu com os alunos aspectos referentes à teoria, à episteme do conhecimento científico, como fórmulas e demonstrações presentes no desenvolvimento de determinado conhecimento científico. Além desses

[2] É importante destacar que, apesar de dar indícios no resumo de uma possível intervenção prática, a leitura completa do trabalho mostrou que se tratava apenas de uma proposta que não havia sido aplicada.
[3] A relação dos 26 trabalhos analisados pode ser encontrada no Apêndice, no final deste artigo.

dois tipos de abordagem, consideramos (III) intervenção que trouxe uma abordagem Internalista/Externalista para o Ensino de Física, as abordagens que apresentaram uma mescla dos aspectos ora apresentados. Os dados estão descritos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Categorização feita a partir dos trabalhos apresentados no EPEF

EPEF (ano)	I	II	III	IV	V	VI	Total
2000	0	0	0	0	0	1	1
2002	0	0	0	0	0	0	0
2004	1	0	0	0	0	2	3
2006	0	0	0	0	0	0	0
2008	1	1	0	0	0	2	4
Total:	**2**	**1**	**0**	**0**	**0**	**5**	**8**

I: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Externalista da HC
II: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Internalista da HC
III: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Internalista e Externalista da HC
IV: Nº de trabalhos que retrataram experimentos históricos
V: Nº de trabalhos que não deixam clara a abordagem utilizada
VI: Nº de trabalhos que não fizeram uma intervenção prática

Fonte: elaborada pelas autoras deste trabalho.

Tabela 4 – Tabela Categorização feita a partir dos trabalhos apresentados no SNEF

SNEF (ano)	I	II	III	IV	V	VI	Total
2003	1	0	1	0	0	1	3
2005	1	0	0	1	1	0	3
2007	2	1	0	0	2	2	7
2009	2	0	3	0	0	0	5
Total:	**6**	**1**	**4**	**1**	**3**	**3**	**18**

I: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Externalista da HC
II: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Internalista da HC
III: Nº de trabalhos que tiveram uma abordagem Internalista e Externalista da HC
IV: Nº de trabalhos que retrataram experimentos históricos
V: Nº de trabalhos que não deixam clara a abordagem utilizada
VI: Nº de trabalhos que não fizeram uma intervenção prática

Fonte: elaborada pelas autoras deste trabalho.

Com a análise dos 26 (vinte e seis) trabalhos (Anexo), foi possível identificar que 8 (oito) intervenções (*trabalhos 1 a 8)* procuraram desenvolver uma abordagem Externalista da História da Ciência, entretanto apenas duas delas apresentam o material didático utilizado. Outro ponto a destacar é que todas essas 8 (oito) intervenções descrevem ter procurado relacionar o desenvolvimento da ciência, com os aspectos sociais, econômicos, políticos e religiosos vigentes na época.

Dos 18 (dezoito) trabalhos restantes, 2 (duas) intervenções demonstram ter baseado sua abordagem histórica em aspectos internos da dinâmica do desenvolvimento científico, apresentando ter procurado discutir a episteme do conceito físico trabalhado. Apenas uma delas apresenta o material histórico utilizado (*trabalhos 9 e 10*).

Dentre os 16 (dezesseis) trabalhos restantes, 4 (quatro) intervenções trabalharam a História da Ciência, mesclando as duas abordagens, ou seja, é possível perceber a partir da análise do artigo que a intervenção trabalhou uma mescla da abordagem Internalista e Externalista da História da Ciência, e 1 (uma) voltou a atenção para a discussão do uso do experimento histórico em sala de aula (*trabalhos 11 a 15)*.

Entre os 11 (onze) trabalhos restantes, 3 (três) deles tiveram como objetivo a discussão sobre a concepção de ciência sem utilizar um episódio histórico (*trabalhos 16 a 18*). Portanto, não puderam ser classificados quanto à abordagem Externalista ou Internalista.

Os 8 (oito) trabalhos restantes (*trabalhos 19 a 26)* não fizeram uma intervenção prática em sala de aula. Entre estes, é possível perceber que 2 (dois) discutem aspectos internos referentes ao desenvolvimento da ciência; 4 (quatro) discutem aspectos Externalistas da história, no entanto, como tais trabalhos não realizaram uma intervenção prática, ou seja, não levaram o material histórico para a sala de aula, não estão incluídos nas nossa categorização. Há também um trabalho que discute aspectos epistemológicos a serem incluídos no currículo de Física, mas não trata diretamente do conteúdo histórico. Já o último trabalho, que não faz uma intervenção, tem como intenção apenas compreender a importância dada pelos professores à inclusão da História da Ciência no Ensino de Ciências.

Considerações finais

Questionamo-nos, considerando as várias pesquisas da área que defendem a introdução de uma abordagem histórica no Ensino de Ciências, se as intervenções ou propostas levadas para a sala de aula levam em conta que a história apresenta diferentes enfoques. A dicotomia entre uma abordagem Internalista ou Externalista da História da Ciência parece ter diminuído com a nova historiografia da ciência, no entanto, entender o que pressupõe cada abordagem parece-nos relevante, já que cada uma delas implica numa compreensão diferente da natureza da ciência e, consequentemente, na formação científico-social que será dada ao estudante.

Nesse sentido, para que a formação seja a mais completa possível, é importante que a abordagem leve em consideração os vários aspectos envolvidos na construção da ciência, permitindo a aquisição de uma visão crítica bem como um aprofundamento do conteúdo.

Entre os anos 2000 e 2009, os eventos de Ensino de Física, EPEF e SNEF, tiveram a presença de vários trabalhos envolvendo a abordagem histórico-filosófica da ciência, porém, poucos trabalhos com intervenções práticas.

Durante a análise da abordagem histórica empregada nas intervenções foi possível verificar que a maioria dos trabalhos não traz o material didático utilizado, o que torna difícil a análise da abordagem histórica introduzida em sala de aula. Algumas apenas mencionam que fizeram o uso textos como apoio, outras descrevem o procedimento de construção deste material, mas não explicitam o conteúdo trabalhado no texto, nem a bibliografia aproveitada para confecção do material.

Então, como uma alternativa de análise, buscamos verificar as questões utilizadas nas entrevistas e questionários. Mesmo assim, não são todas as intervenções que apresentam no artigo, ou trazem em anexo, o questionário ou a entrevista utilizada.

É possível perceber, com a análise das intervenções, que há uma maior tendência à utilização de uma abordagem histórica Externalista nas intervenções realizadas em sala de aula em âmbito nacional entre os anos de 2000 e 2009. Dentre as 26 (vinte e seis) intervenções analisadas oito aplicaram uma abordagem Externalista da História da Ciência em sala. Por outro lado, ao longo desses dez anos foram encontradas nos Anais dos SNEF e do EPEF apenas duas intervenções que utilizaram uma abordagem histórica Internalista em sala. Vale ressaltar também que até no ano de 2007 não foi encontrada nenhuma intervenção que utiliza uma abordagem Internalista em sala de aula.

Como resposta aos questionamentos iniciais apresentados neste estudo, a análise dos trabalhos dos eventos permite-nos concluir que a tendência atual da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) tem prevalecido na utilização da História da Ciência. Dessa forma, reforça-se o caráter sociológico da ciência na apresentação da história, com a intenção de formar cidadãos críticos.

Há que se destacar aqui que mesmo dentro da abordagem sociológica da História da Ciência existem várias vertentes, condicionadas pela formação do historiador, pesquisador ou professor que a utiliza, e que deve ser deixada tão clara para o aluno quanto o próprio conteúdo abordado, para que seja efetivamente uma formação crítica.

Referências

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. The influence of history of science course on students' view of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching,* v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ACEVEDO, J. A. et al. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. *Ciência & Educação,* v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.

ALLCHIN, D. Values in science: an educational perspective. *Science & Education,* n. 8, p. 1-12, 1999.

BARBEROUSSE, A.; KISTLER, M.; LUDEIG, P. *A filosofia das ciências do século XX.* Instituto Piaget, Flammarion, 2000. p. 130-133. 253 p.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio.* Brasília: MEC, 2000.

CHALMERS, A. F. *O que é Ciência afinal?* Tradução Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993, p. 123-137. 225 p.

CUDMANI, L. C. Cuestiones que plantean las concepciones posmodernas en la enseñanza de las ciencias. Visiones de científicos destacados de la historia. *Ciência & Educação,* Bauru, v. 7, n. 2, p. 155-168, 2001.

FORATO, T. C. M. *A natureza da ciência como saber escolar:* um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. 204p. Tese. (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. v. 1, 204 p.

FORATO, T. C. M. A Filosofia mística e a doutrina Newtoniana: discussão historiográfica. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia,* v. 1, n. 3, p. 29-53, nov. 2008.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

GIL-PÉREZ, D.; et. al. Para uma imagem não deformada do trabalho cientifico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GRECA, I. M.; FREIRE Jr., O. A crítica forte da ciência e implicações para o ensino. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 343-361, 2004.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, n. 20, p. 293-316, 2011.

LAKATOS, I. *Historia de La ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Tradução de Diego Ribes Nicolás. Espanha: Editorial Tecnos, 1987. p.11-43. 158 p.

MARTINS, R. A. Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme,* Porto Alegre, n. 10, p. 39-56, jan./jun. 2000.

MARTINS, R. A. História e História da Ciência: encontros e desencontros. p. 11-46. In: *Atas* do 1º. Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica (Universidade de Évora e Universidade de Aveiro). Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

MARTINS, R. A. Ciência *versus* historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre História da Ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Orgs.). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas.* São Paulo. EDUC/Livraria Editora da Física/Fapesp, 2004. p. 115-145. 229 p.

MARTINS, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MATTHEWS, M. R**.** História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física,* v. 12, n. 3, p. 164-214, Florianópolis, 1995.

OLIVEIRA, J. C. P. Sobre a gênese (e justificação) da "nova historiografia". In: MARTINS, R. A.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, L. A. P. (Orgs). *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 5° encontro.* Campinas: AFHIC, 2008. p. 272-277. 645 p.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. Entre o discurso e a prática sobre História, Filosofia e Natureza da Ciência e a sala de aula de Física: um panorama a partir dos eventos de Ensino de Física. *1ª IHPST-LA. Seleção dos trabalhos,* 2011. (No prelo).

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação,* v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR., Olival. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science & Education,* DOI: 10.1007/s11191-009-9217-3. 2009.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A.; FREITAS, D. Science teacher education in Brazil: 1950-2000. *Science & Education*, v. 18, p. 125-148, 2009.

APÊNDICE

Relação final dos trabalhos que foram analisados quanto à abordagem histórica utilizada na intervenção em sala de aula[4]

Categoria I: Trabalhos que tiveram uma abordagem Externalista

Trabalho 1. SILVA, Evilásio P. da; FERREIRA, Daniela L.; REINEHR, Edson Eduardo; ANDRADE, José Maurício. *Do início até você:* um curso de História da Ciência e Tecnologia através de filmes no Ensino Médio. *Atas* do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.

Os autores levaram ao Ensino Médio um módulo intitulado "História da Ciência e Tecnologia: do início até você!". O curso deu enfoque às relações entre Ciência, cultura e sociedade em diferentes épocas históricas. Assim eles discutem, a partir de uma série de filmes, o panorama da história do homem ressaltando as suas conquistas científico-tecnológicas e seus impactos sociais.

Trabalho 2. GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Um curso de Cosmologia na primeira série do Ensino Médio com enfoque Histórico-Filosófico. *Atas* do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

Apresenta uma proposta que foi desenvolvida num curso de Física, para primeira série do Ensino Médio em uma escola do Rio de Janeiro, com o tema Cosmologia. Nesta proposta foi apresentada aos alunos a cosmologia aristotélico-ptolomaica discutindo suas virtudes e deficiências, bem como o sistema copernicano, procurando apresentar a influência mútua entres esses sistemas e a sociedade da época.

Trabalho 3. MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. A Utilização da História da Ciência no Ensino de Física: investigando o contexto da construção do espectroscópio de chamas. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Os autores buscaram investigar a percepção dos estudantes acerca do estudo do espectroscópio de chamas através de uma perspectiva histórica. Assim eles construíram um referencial teórico de apoio às aulas, o qual contemplava o contexto da construção do espectroscópio de chamas, desenvolvido em meados do século XIX.

[4] Com exceção dos trabalhos do SNEF 2003 e do EPEF 2000, que estão disponíveis em CD-ROM, todos os trabalhos analisados quanto à intervenção didática estão disponíveis no site da Sociedade Brasileira de Física (SBF): <http://www.sbfisica.org.br/v1/>.

Trabalho 4. FORATO, Thaís Cyrino de Mello; MARTINS, Roberto de Andrade; PIETROCOLA, Maurício. Teorias da luz e natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no Ensino Médio. *Atas* do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008.

Os autores descrevem a elaboração e aplicação de um curso em uma escola pública de São Paulo, que introduzia conhecimentos da HFC no Ensino Médio, através de três episódios da História da Óptica, enfocando teorias da luz, e discutindo também aspectos da Natureza da Ciência. Nessa proposta, procuraram relacionar o desenvolvimento do conceito físico estudado com a época em que este de desenvolveu, bem como discutiram a imagem da Ciência no século XVIII.

Trabalho 5. HORNES, Andréia; SILVA, Sani de C. Rutz da; PINHEIRO, Nilcéia A. Maciel. Uma atividade histórico-crítica da evolução científica, tecnológica e social no estudo da termodinâmica. *Atas* do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

Os autores apontam que procuraram levar os estudantes a compreender cientificamente o funcionamento básico do barco a vapor, e suas implicações na história e na sociedade, bem como ressaltar as relações existentes entre o crescimento econômico da cidade de São Mateus e o desenvolvimento da máquina a vapor. Nesse sentido, foram feitas, entre outras coisas, visitas a pontos turísticos da cidade, cujo principal objetivo foi esclarecer a influência da máquina a vapor no desenvolvimento da cidade.

Trabalho 6. VEGA, Lúcio Flávio Leal. A história da física: uma nova perspectiva para o ensino de física. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2003.

O autor apresenta uma proposta em que buscou ensinar os conceitos físicos a alunos do primeiro e do segundo ano do Ensino Médio a partir de histórias fictícias. Nessas, criava-se um contexto para que a Física nascesse da necessidade de ser aplicada, entretanto, ele percebeu que deveria retirar esse artificialismo do seu ensino. Então, começou a apresentar a Física a partir do contexto em que seus conhecimentos estavam inseridos, sendo necessário então resgatar a verdadeira História da Física, atrelando-a à sociologia, à filosofia e à antropologia, o que permitia, segundo ele, elaborar o contexto que permeava os conhecimentos científicos.

Trabalho 7. PAULA, Helder de F.; BORGES, Antônio Tarciso. A compreensão dos estudantes sobre o papel da imaginação na produção das ciências. *Atas* do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Jaboticatubas, 2004.

Retrata uma experiência com uma turma de estudantes dos dois últimos anos do Ensino Fundamental, em que procuraram discutir com os alunos aspectos referentes aos propósitos da Ciência, ao papel das ideias e evidências na construção das explicações e o caráter provisório do co-

nhecimento. Foram discutidas as estratégias usadas para investigar questões de interesse das ciências e processo de validação do conhecimento científico, procurando destacar o papel da imaginação e da modelização na produção das ciências, por meio de reflexões suscitadas pelos textos e atividades que compunham o material didático utilizado.

Trabalho 8. BRAGA, Marco; GUERRA, Andréia; REIS, José Cláudio. Cinema e História da Ciência na formação de professores. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Os autores apresentam no trabalho um projeto aplicado com professores do Rio de Janeiro. Nesse projeto, eles procuraram introduzir o cinema como ferramenta de construção de uma compreensão mais elaborada da História da Ciência. Eles citam alguns filmes trabalhados, como: *O Destino*, *O Nome da Rosa*, *Moça com Brinco de Pérola*, *Frankenstein de Mary Shelley* e *O Início do Fim*. Esses filmes foram utilizados para contextualizar diversos momentos históricos com temáticas de cunho científico, como: o aristotelismo na Europa do século XIV; a questão do empirismo no século XVII; ou as relações entre Ciência e sociedade no século XX.

Categoria II: Trabalhos que tiveram abordagem Internalista

Trabalho 9. SOUZA FILHO, Moacir Pereira; BOSS, Sérgio L. Bragatto; CALUZI, João José. Perfil e obstáculo epistemológico na aprendizagem do conceito de ímã. *Atas* do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008.

Traça um perfil epistemológico sobre a evolução do conceito de ímã tanto na HC, como em grupos de graduandos de licenciatura em Física. Esse trabalho desenvolveu-se em um curso de extensão universitária no qual foi estudado o conteúdo histórico do eletromagnetismo clássico, denominado *Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*. Para isso, foram utilizados textos traduzidos de trabalhos históricos dos principais cientistas da eletricidade e magnetismo, como: Bartolomew, Peregrinus, e trechos da obra de Willian Gilbert.

Trabalho 10. SILVA, Marcelo Souza da; TEIXEIRA, Elder Sales. Um estudo de caso acerca da influência de uma abordagem contextual na compreensão do conceito de inércia, de estudantes de Física. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Apresenta aos estudantes do Curso de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) o conceito newtoniano de inércia, através de uma perspectiva histórica, utilizando textos originais, como por exemplo, o *Principia* de Newton.

Categoria III: Trabalhos que tiveram uma abordagem Internalista/Externalista

Trabalho 11. QUINTAL, João Ricardo; MORAES, Andréia Guerra de. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

Os autores apresentam que desenvolveram um projeto no Ensino Médio intitulado *Física na História*. Essa proposta de caráter histórico-filosófico utilizou a HC como eixo condutor e apresentou o desenvolvimento do pensamento científico no estudo do eletromagnetismo, desde as principais descobertas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos da Antiguidade Clássica até o conceito de campo criado por Maxwell em meados do século XIX, fazendo conexão com o contexto histórico-social da época das descobertas. Assim, os conteúdos do eletromagnetismo foram trabalhados de forma contextualizada, no sentido de levantar questões internas e externas ao processo da produção científica.

Trabalho 12. GUERRA, Andréia; REIS, José Cláudio; BRAGA, Marco. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no Ensino Médio. *Atas* do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2003.

Os autores apresentam a estrutura curricular de um curso de eletromagnetismo para a terceira série do Ensino Médio, em que discutiram com os alunos o *status* da eletricidade e do magnetismo em diferentes contextos históricos. Além de trabalharem o contexto cultural em que viveram Oersterd, Ampère e Faraday. Os autores também discutiram aspectos conceituais do desenvolvimento do eletromagnetismo ao longo da história.

Trabalho 13. SILVEIRA, Alessandro F.; ATAÍDE, Ana R. P.; SILVA, Ana P. B.; FREIRE, Morgana L. de F. Natureza da Ciência numa proposta de sequência didática: explorando os pensamentos de Aristóteles e Galileu sobre o movimento relativo. *Atas* do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

Os autores apresentam uma proposta de uma sequência didática aplicada num curso de licenciatura em Física, em que buscaram proporcionar uma melhoria nos conhecimentos e na compreensão da Ciência como construção humana. Durante a proposta, os autores descrevem que foram realizadas atividades práticas como a utilização de oficinas e estudos de textos retirados do livro de Galileu, *Diálogos sobre os dois máximos sistemas do mundo*. Segundo os autores, na sequência didática foi trabalhado um conteúdo específico da Física, o movimento relativo, através de textos que têm como base as visões de mundo de Aristóteles e Galileu.

Trabalho 14. BARROS, Marco Antonio. Uma análise histórica do princípio de Fermat e suas implicações no ensino da reflexão e refração da luz. *Atas* do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

O autor descreve que desenvolveu o trabalho junto a alunos do curso de licenciatura em Física com o objetivo de verificar o relato histórico sobre o Princípio de Fermat, por meio de suas cartas aos cartesianos, buscando entender se o seu Princípio estava bem fundamentado dentro do contexto científico da época. Entre outras atividades, o autor descreve que foi feita a verificação do Princípio de Fermat, para a reflexão e refração; leitura (com tradução) e análise das cartas de Fermat e do livro *El mundo: Tratado de La Luz*; leituras complementares em artigos (fontes secundárias) a respeito da oposição entre Fermat e Descartes.

Categoria IV: Trabalho que abordou Experimento Histórico

Trabalho 15. FREITAS, Fábio Henrique de Alencar; FREIRE JR., Olival. O plano inclinado galileano: notas sobre uma tomada de dados com estudantes do Ensino Superior. *Atas* do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.

A intervenção teve como foco principal a discussão do uso do experimento histórico em sala de aula, aplicando o experimento do plano inclinado galileano para verificar como o mesmo poderia trazer questões conceituais de Mecânica e questões histórico-filosóficas sobre o método utilizado por Galileu para o ensino.

Categoria V: Trabalhos que não deixaram clara a abordagem utilizada

Trabalho 16. SILVA, Luciano Fernandes; BOCANEGRA, Carlos Henrique; OLIVEIRA, Josely Kobal de. A compreensão dos alunos do Ensino Médio em relação aos aspectos da Natureza da Ciência. *Atas* do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.

Segundo os autores, no trabalho, eles procuraram discutir com os alunos aspectos que caracterizassem *O que é a Ciência*, e as principais características da atividade científica – hipótese, raciocínio lógico, dados empíricos, quantificação dos dados, previsibilidade, comunidade científica e refutação.

Trabalho 17. BOCANEGRA, Carlos Henrique; SILVA, Luis Fernandes; ANDRADE, Agnaldo A. F. A Natureza da Ciência e o processo educativo: Relato de uma experiência de ensino realizada em uma escola pública de Ensino Médio. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Desenvolve uma proposta no Ensino Médio, na qual se discutem aspectos relativos à natureza do conhecimento científico e tem como objetivo apresentar aos alunos o desenvolvimento do estatuto epistemológico da Ciência, para que assim eles possam identificar as diferenças entre o conhecimento científico e o senso comum.

Trabalho 18. TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JR., Olival. Um estudo sobre a influência da História e Filosofia da Ciência na formação de estudantes de Física. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Os autores apresentam que desenvolveram uma intervenção em cursos de Física na qual abordam os conteúdos da Mecânica Clássica por meio da HFC, para investigar a influência desse tipo de abordagem na compreensão dos estudantes acerca dos conceitos físicos tratados, bem como nas concepções sobre a Natureza da Ciência.

Categoria VI: Trabalhos que não fizeram uma intervenção prática

Trabalho 19. CUDMANI, Leonor Colombo de. ¿Qué puede aportar la epistemología a los diseños curriculares en Física? *Atas* do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, 2000.

Trabalho 20. GOMES, Gerson G.; PIETROCOLA, Maurício. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. *Atas* do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008.

Trabalho 21. MONTE, Marciel José do; ALMEIDA, Jairo R. Lopes de. História da Física no Ensino Médio. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Trabalho 22. PEDUZZI, Luiz O. Q. Do átomo grego ao átomo de Bohr: o perfil de um texto para a disciplina evolução dos conceitos da Física. *Atas* do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Jaboticatubas, 2004.

Trabalho 23. PEDUZZI, Luiz O. Q.; DANIEL, Gilmar Praxedes. Tycho Brahe e Kepler na escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. *Atas* do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, 2008.

Trabalho 24. SOUZA, Roseli Ovale de; ARAÚJO, Mauro S. Teixeira de; GUAZZELLI, Iara R. Bocchese; MACIEL, Maria Delourdes. Concepções dos estudantes sobre a Ciência, os cientistas e o Método Científico: uma abordagem histórico-crítica como base para uma proposta de intervenção visando à resignificação destes conceitos. *Atas* do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Luís, 2007.

Trabalho 25. VILLANI, Alberto; DIAS, Valéria Silva. História da Ciência e ensino: subsídios de Faraday para a metodologia do trabalho experimental. *Atas* do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2003.

Trabalho 26. VILLANI, Alberto; DIAS, Valéria Silva. Uma contribuição da História da Ciência para a pesquisa em Ensino de Ciências. *Atas* do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Jaboticatubas, 2004.

QUAL HISTÓRIA E QUAL FILOSOFIA DA CIÊNCIA SÃO CAPAZES DE MELHORAR O ENSINO DE FÍSICA?

Capítulo 3

Jenner Barretto Bastos Filho

Introdução

Há pelo menos algumas décadas, discute-se sobre a recomendação de que o Ensino de Ciências em geral, e em especial o de Física, seria muito mais rico se a História e a Filosofia fossem nele inseridas e entrelaçadas. Tal como nós professores de ciências podemos constatar de nossas experiências pessoais, essa recomendação, embora não seja consensual, haja vista que existem críticos dessa inserção e desse entrelaçamento, ela é, pelo menos aparentemente, majoritária entre os educadores e os professores das disciplinas científicas.

Entre os defensores desse entrelaçamento há inclusive aqueles que tratam a História e a Filosofia como um todo quase único de tal maneira que a referência a tais disciplinas poderia ser adotada como expressa no singular como *a história e a filosofia da ciência é...* e não no plural como *a história da ciência e a filosofia da ciência são...* No plural, assumir-se-ia, talvez um pouco mais prudentemente, que embora houvesse entrelaçamentos e relações íntimas e inerentes entre as mesmas, ainda assim cada uma delas conservaria a sua própria autonomia enquanto disciplina.

Outrossim, a recomendação não se restringe apenas ao aspecto cognitivo uma vez que o processo educacional, além de ser dotado da imprescindível dimensão cognitiva, certamente não se esgota nessa, pois ele é também, e não como mero apêndice e sim como um protagonista de primeira importância, gerador de valores e atitudes e, desse modo, nada seria mais importante para o cidadão do que desenvolver boas atitudes e adotar condutas nas quais subjazem bons valores, tanto no que concerne à sua vida pessoal quanto no que diz respeito à vida em sociedade.

Aqui falamos a partir da perspectiva de um professor de Física que persegue o objetivo de melhoria da educação científica e por essa razão defendemos a tese segundo a qual a inserção e o entrelaçamento de ambas as disciplinas de História da Física e de Filosofia da Física no contexto do Ensino de Física sejam expedientes que melhoram a própria compreensão dos conteúdos da Física e que, além disso, e não menos importante que isso, também contribuem relevantemente para a emergência de atitudes e valores dos sujeitos envolvidos no processo educacional, independentemente, de serem professores ou estudantes ou ainda no caso do envolvimento de outras pessoas no contexto de uma educação não necessariamente formal.

Falamos mais uma vez a partir da perspectiva de um professor e pensamos que embora todos nós devamos nos ater, como referência importante, ao trabalho de historiadores e de filósofos, nós, na qualidade de professores de *Física*, devemos trabalhar nas nossas próprias especificidades.

Expliquemos melhor: o trabalho do historiador que lança mão dos métodos próprios da historiografia é, enormemente, benéfico para o professor de Física, mas esse, e aqui expressamos apenas um ponto de vista, deve, preferencialmente, se ater a essas referências e beneficiar-se delas de uma maneira própria do professor atento e perspicaz e não tem que se transformar, necessariamente, apenas por isso, em um historiador; do mesmo modo, as referências e os balizamentos mediante o estudo criterioso da Filosofia são enormemente benéficos e devem ser empreendidos, mas não necessariamente o professor de Física terá que se transformar, simplesmente por essa razão, em um filósofo.

Se, a partir daí, as vocações de historiador e de filósofo vierem a ser estimuladas, diríamos que nada há de errado nisso, pois os caminhos a se seguir na vida são múltiplos e variados e é bom que assim seja. Não obstante, acreditamos não ser esse o objetivo precípuo da defesa da inserção da História e da Filosofia no Ensino de Física. É necessário dizer, com todas as letras, que precisamos de historiadores e de filósofos e que, além disso, os professores de ciências e seus estudantes beneficiam-se sobremaneira se lançarem mão dos estudos dos historiadores e filósofos de uma maneira tão criteriosa quanto lhes ensejar engenho e arte.

O objetivo precípuo dessa inserção, contudo, é a melhoria do ensino da própria Física, ou seja, a melhoria tanto da compreensão dessa disciplina científica, como um todo, quanto da formação de atitudes e valores necessários ao desempenho, a pleno título, do cidadão.

Temos a intenção de desenvolver, neste trabalho, alguns exemplos que darão substância a essas teses.

A questão de quem deva escrever sobre um dado assunto

O físico e historiador brasileiro Roberto Martins, em 2001, publicou uma crítica[1] duríssima a um livro do físico Gleiser (ver lista de referências no final do capítulo). Destacando um excerto do livro desse autor, e dissecando-o em detalhes, Martins passa a fazer uma verdadeira desconstrução do texto do excerto correspondente e nele se debruça em considerações críticas praticamente durante quase todo o seu artigo.

Em linhas gerais, Martins argumenta que o texto de Gleiser contém graves erros como o de atribuir uma pressuposta influência hegemônica de Aristóteles (384/383 a.C. - 322 a.C.) durante todo o período que vai do século IV a.C. até o século XVI, esse último século imediatamente anterior ao século XVII no qual se processou, de maneira predominante, a assim chamada *Revolução Científica*[2] de enorme impacto na História da Humanidade.

Como o excerto também se referia ao cristianismo, então era óbvio o erro, pois não se precisa de documento histórico algum, e sim de mera cronologia, para se constatar que no período que vai do século IV a.C. até o ano zero da Era Cristã não havia cristianismo algum, simplesmente porque Cristo ainda não havia nascido. Outrossim, em largos períodos da Idade Média, Aristóteles era sobremaneira desconhecido e quando passou a ser lido de maneira apreciável isso se deu muito tardiamente mediante as traduções árabes, e, somente depois, as obras de Aristóteles foram traduzidas diretamente a partir do grego.

Desse modo, Martins contradita Gleiser quando este último assevera que Aristóteles teria sido hegemônico durante todo esse enorme período. Martins argumenta que isso somente ocorreu em situações muito breves, específicas e locais.

O excerto do livro de Gleiser criticado por Martins constitui um exemplo do quão perigoso e imprudente revela-se uma afirmação tão peremptória em apenas um parágrafo. Ainda mais quando tal afirmação refere-se a um período tão longo como se esse pudesse ser minimamente monolítico e uniforme. Procedendo-se assim, despreza-se a imensa pluralidade da produção intelectual da humanidade, as marchas e contramarchas da história, a não linearidade do pensamento e a coexistência de sistemas de pensamento em conflito.

Tudo isso é pertinente em alto grau, pois tanto nós professores quanto também nossos estudantes não devemos, em nome de uma simplificação exorbitante de um processo necessariamente complexo, depararmo-nos com

[1] Duas outras críticas já haviam sido publicadas em 1998, as quais se encontram dispostas na lista das referências no final do capítulo como Martins, 1998a e Martins, 1998b.

[2] A *Revolução Científica*, quando referida ao processo complexo de aproximadamente um século e meio que vai de Copérnico (1473-1543) a Newton (1642-1727) passando por Galileu e Kepler, pode ser arbitrada como o conjunto de eventos compreendidos no período de 1543 com a publicação *do De Revolutionibus,* de Nicolau Copérnico a 1687 com a publicação dos *Principia,* de Isaac Newton, no entanto há quem conceba diferentemente. Martins, por exemplo, refere-se a um conferencista que em um congresso houvera respondido que "a 'Revolução Científica' começou na Antiguidade grega e ainda não terminou". (MARTINS, 2001, nota de rodapé n. 12).

uma reconstrução racional tão acentuadamente linearizada e tão mal feita que faz com que seminais pensadores sejam vistos como supérfluos, senão relegados ao esquecimento por não *merecerem* sequer algum tipo de menção.

Procedendo-se assim, presta-se um mau serviço à causa da educação científica, pois a natureza do conhecimento científico que com isso se sugere aos professores e estudantes não é aquela ensejada pelas ricas e penosas controvérsias, algumas delas eternamente recorrentes e sempre recorrentes em diferentes patamares. Enfim, o Ensino de Ciências se vê, desse modo, enormemente empobrecido.

A análise de Martins baseia-se em suas próprias pesquisas e em várias obras de autores que são referências centrais nos estudos históricos, notadamente, em um livro importante de Alistair Cameron Crombie (1915-1996) que cobre a História da Ciência no período que vai de Santo Agostinho (354-430) a Galileu Galilei (1564-1642). No começo desse livro Crombie[3] faz a seguinte advertência:

> O historiador da ciência perderia muito se caísse na tentação de utilizar o conhecimento moderno para avaliar as descobertas e teorias do passado. É precisamente quando ele faz isso que se expõe aos maiores perigos. Como a ciência progride fazendo descobertas e detectando erros, a tentação de considerar as descobertas do passado como meras antecipações da ciência atual e de apagar os erros supondo que não conduziram a parte alguma é quase irresistível. É precisamente esta tentação, que pertence à essência da ciência, aquela que pode algumas vezes tornar mais difícil para nós compreender como se realizaram de fato as descobertas e como as teorias foram pensadas por seus autores em sua própria época; tentação que pode levar à forma mais traiçoeira de falsificação da história (CROMBIE, apud MARTINS, 2011, p. 116).

Temos o propósito de analisar essa citação na seção seguinte deste trabalho ressaltando, pois, os pontos que nos interessam aqui na presente discussão.

As advertências de Crombie

Há, a rigor, pelo menos três advertências importantes que podemos depreender do excerto de Crombie. Faremos uma interpretação pessoal do texto e que nos parece ser bastante razoável. A primeira dessas advertências, podemos dizer, é aquela constituída pelo perigo do anacronismo, ou seja, pela tentação de se interpretar feitos do passado à luz das teorias presentes e que seriam impensáveis no passado. Uma segunda advertência, ligada à primeira, seria a de enaltecer aquilo que, à luz das teorias hodiernas, parece se constituir em antecipações, e até mesmo em intuições premonitórias de resultados presentes e assim tais *insights* se-

[3] *Historia de la Ciencia: de San Agustin a Galileo*, v. 1, p. 18-19.

riam atribuídos a uma faculdade excepcional; o outro lado dessa mesma moeda seria o descarte mutilador, à luz dessas mesmas teorias hodiernas, daquelas coisas que parecem ser meras ingenuidades.

Assim procedendo, comete-se uma dupla distorção: a de supervalorizar certos elementos e a de subvalorizar outros tantos, em um processo de linearização tão forçada que distorce a natureza do processo de desenvolvimento das ideias científicas. Há ainda uma terceira advertência que pode ser depreendida do texto de Crombie (1983) que consiste um uma tensão: ora, se tal como Crombie (1983) argumentou, progredir fazendo descobertas e detectando erros pertence à essência da atividade científica, então nada mais natural seria para o cientista *puro*, mas não para o historiador *puro*, do que cometer algumas linearizações e supersimplificações do processo histórico no afã de sistematizar o conhecimento a seu modo.

Dessa forma, há claramente um conflito entre as perspectivas e métodos do historiador que chamamos de *puro* e as perspectivas e métodos do cientista que chamaremos de *puro*. E quando se pensa em introduzir a História e a Filosofia em um curso de Física, por exemplo, essa tensão, que é concretamente existente, requer algum grau de conciliação e almeja-se que essa conciliação seja tão judiciosa quanto possível.

- Diante disso como deveria se posicionar um professor de Física, por exemplo, que teve formação em sua disciplina que lhe foi ensinada numa perspectiva já sistematizada por sucessivas reconstruções racionais e sucessivas demandas curriculares visando a certos tipos de eficiência e, portanto, por uma perspectiva não histórica?

- Caberia ao professor de Física, por exemplo, mas não necessariamente só para ele, a tarefa nada simples de trabalhar como mediador oferecendo um contraponto equilibrado a esse confronto entre historiadores da ciência e cientistas que trabalham em suas ciências no sentido estrito?

Pensamos que nada disso pode ser respondido facilmente, nem como uma prescrição do que deva ser feito e trilhado para um grande número de casos nem tampouco como uma panaceia, contudo o professor de Física tem a obrigação de ser o mais criterioso possível dentro dos recursos e das limitações que dispõe e fazer escolhas que sejam as mais judiciosas a seu alcance.

Uma possível resposta de Feynman, Leighton e Sands

Vejamos um excerto de Feynman, Leighton e Sands:

> No tempo em que Carnot viveu, a primeira lei da termodinâmica, a conservação da energia, não era conhecida. (FEYNMAN et al., 1965, p. 44-2).[4]

E mais adiante,

> A assim chamada segunda lei da termodinâmica foi deste modo descoberta por Carnot, antes da primeira lei! Seria interessante aqui apresentar o argumento de Carnot que não lança mão da primeira lei, mas nós não o faremos, pois o que queremos é ensinar física, não história. (FEYNMAN et al., 1965, p. 44-3).[5]

A perspectiva de físicos como Feynman, Leighton e Sands é clara. Eles estão interessados em ensinar a sua ciência, e no caso particular, ora exemplificado, eles estão interessados em ensinar Termodinâmica. Como o que importa para eles, pelo menos no momento em que escreveram um curso do gênero e dedicaram um capítulo ao tema, é o conteúdo da ciência do calor no sentido estrito do termo, então não interessaria, pelo menos em primeira instância, que a segunda lei fosse, ou não, cronologicamente anterior à primeira.

O que fundamentalmente interessa para eles é propiciar uma reconstrução racional, ou uma narrativa que, independentemente de ser ortodoxa ou heterodoxa, constitua, de fato, uma versão pedagógica do assunto, em que as leis da termodinâmica – a lei da conservação da energia e a lei do crescimento da entropia – sejam, conceitualmente, bem compreendidas, pois o objetivo precípuo de suas atividades seria a formação de físicos e não de historiadores.

Obviamente, essa perspectiva parece limitada e de fato o é. A maneira pela qual tais desenvolvimentos se situariam na história e quais seriam as suas implicações epistemológicas, tudo isso seria ignorado. Principalmente, tratando-se de um exemplo emblemático da relação não linear entre ciência e tecnologia. Ainda mais desprezada seria uma história de viés externalista, na qual o advento das máquinas a vapor, de enfática motivação econômica, exerceu notável e decisiva influência nos próprios desenvolvimentos da termodinâmica. A outra face da moeda é que, para se enveredar em História da Física e em Filosofia da Física, faz-se necessário dominar certo número de conteúdos básicos, e, nesse sentido, esses conteúdos são também imprescindíveis para se fazer quer História da

[4] At the time when Carnot lived, the first law of thermodynamics, the conservation of energy, was not known. (FEYNMAN et al. *Lectures on Physics*, v. 1, p. 44-2, 1965).

[5] The so-called second law of thermodynamics was thus discovered by Carnot before the first law! It would be interesting to give Carnot's argument that did not use the first law, but we shall not do so because we want learn physics, not history. (FEYNMAN et al. *Lectures on Physics*, v. 1, p. 44-3, 1965).

Física quer Filosofia da Física, quer sejam as duas entrelaçadas de uma maneira indissolúvel.

Em qualquer que seja o caso, deparamo-nos com uma necessidade de conciliação. Para o professor de Física interessado em História e Filosofia não há outra alternativa senão a de se inserir nesse desafio permanente para o qual sabe, de antemão, que não há solução satisfatória a ponto de se constituir em panaceia.

Nesse contexto, e como uma possível conciliação, vale também a recomendação de Lakatos sobre as relações da História da Ciência com a Filosofia da Ciência.

> Ao redigir o estudo de um caso histórico, deve-se, creio eu, adotar o seguinte procedimento: (1) faz-se uma reconstrução racional; (2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional pela falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade. Dessa maneira, todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico: a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega. (LAKATOS, 1979, p. 169).

A recomendação de Lakatos parece ser, de fato, uma boa recomendação. Não obstante, ela encerra algo um tanto quanto problemático e que tem que ser dirimido por cada professor quando se vê diante de situações concretas de inserção da História da Ciência e da Filosofia da Ciência em suas aulas. Teceremos algumas considerações sobre esse ponto na próxima seção.

Problematizando a citação de Lakatos

- Lakatos refere-se à História Real, mas o que seria mesmo isso?

Ora, História é interpretação de fatos que à luz de alguma teoria classifica e dá significado apenas àqueles considerados relevantes para a resposta daquilo que se deseja, desprezando-se, por conseguinte, todos os demais por serem considerados não pertinentes.

- Desse modo, o que se poderia considerar história real, se várias delas poderiam ser construídas em cima dos mesmos fatos diferentemente interpretados?

- Por outro lado se uma dada reconstrução racional se dá em um período histórico e em um dado contexto histórico, então, assim também não pertenceria à história das ideias?

- Seria a revisita de feitos do passado, notadamente de feitos científicos do passado, à luz de teorias hodiernas, algo necessariamente mau?

- Não seriam tais revisitas excelentes oportunidades pedagógicas de se estudar como mediante reconstruções racionais a história foi traída para, justamente, oferecer-se a contrapartida e o contradito histórico?

As respostas para tais perguntas parecem ser de longo alcance e enormemente recorrentes. Obviamente, não pretendemos dar respostas definitivas e nem mesmo respostas satisfatórias, pois julgamos que tais questões sejam enormemente recorrentes. E mesmo que quiséssemos, não seríamos capazes de oferecê-las se porventura elas pudessem existir. A nossa intenção é muito mais a de apontar que existe de fato um problema a ser investigado e que conjecturar sobre o assunto talvez seja válido.

Dando continuidade ao presente trabalho, argumentaremos com alguns exemplos o que podemos dizer sobre o assunto, tomando como base o que a análise desses exemplos pode nos sugerir.

Primeiro exemplo: a trajetória parabólica de Galileu

Nós, professores de Física, ensinamos que a composição de um movimento com velocidade constante ao longo do eixo dos **x** com um movimento com aceleração constante ao longo do eixo dos **y** redunda em um movimento cuja trajetória é parabólica. Para mostrarmos isso aos alunos recorremos à equação da reta $\mathbf{x = x(t) = vt}$ em geometria analítica e à equação da parábola $\mathbf{y = y(t)= 1/2gt^2}$ também em geometria analítica. Tiramos o valor de **t** na primeira equação e o substituímos na segunda equação, e desse modo obtemos o resultado $\mathbf{y(x)=(g/2v^2)x^2}$ que expressa a trajetória parabólica. O símbolo **v** denota velocidade constante em **x**, o símbolo **t** denota o tempo, **g** a aceleração em queda livre para pequenas alturas na superfície da Terra, **x** e **y** as coordenadas cartesianas para cada instante **t**.

Tudo o que está dito nesse parágrafo diz respeito a uma dada reconstrução racional ou, se quisermos, diz respeito a uma narrativa pedagógica. Claro que essa narrativa não é histórica, mas nem por isso deixa de ser válida enquanto narrativa pedagógica que, embora simplifique enormemente o processo histórico, tem a vantagem de propiciar algum grau de compreensão para os estudantes e seus professores.

Evidentemente, simplificar em demasia também representa o perigo de distorcer o processo histórico e de camuflar a natureza da ciência física. Por isso, é necessário que o professor exerça, permanentemente, uma espécie de vigilância histórico-epistemológica sobre as suas próprias adoções enquanto professor.

Um historiador poderia protestar e, de maneira pertinente e estando coberto de razão, argumentar que, ao se ensinar desse jeito, comete-se uma série de desatinos históricos. Perguntaria indignado:

- Galileu usando a geometria analítica?

A geometria analítica que no fundo se constitui em algebrizar a geometria dos gregos, representa enorme salto conceitual. Nasce com Descartes (1596-1650) no século XVII, decerto um contemporâneo de Galileu (1564-1642), mas Galileu utiliza-se nos seus *Discorsi* de 1638, na quarta jornada das interlocuções envolvendo Salviati, Sagredo e Simplício, da geometria dos gregos e não da geometria analítica. Galileu lança mão de clássicos gregos como o Tratado das seções cônicas de Apolônio de Perga. Galileu constata que as propriedades geométricas da parábola (dada que a seção parabólica é uma das seções cônicas no caso em que o plano que secciona o cone seja paralelo à geratriz do mesmo), são as mesmas de uma composição de "espaços iguais em x" com "espaços uniformemente aumentados em y".

Se tomarmos a história *real* como a que se apresenta na Quarta Jornada dos *Discorsi*, então, torna-se claro que o professor de Física, sem ter que condenar ao silêncio a narrativa não histórica e supersimplificada à qual está habituado, deve, no entanto, proceder a um contraponto fazendo ver a seus alunos que a maneira com que o episódio é ensinado nos dias de hoje não é a mesma que se encontra nos *Discorsi*.

Expressando uma opinião pessoal, diríamos mesmo que o professor deve mostrar as duas versões aos seus alunos e até mesmo encorajá-los a desenvolver trabalhos procurando comparar as duas versões. Evidentemente, isso é muito fácil de ser dito, mas difícil de ser implementado. Uma das razões seria de ordem externa ao próprio curso de Física, no sentido estrito do termo. Um diretor de colégio que passasse na porta e que visse um experimento pedagógico do gênero, certamente, não ficaria satisfeito, pois a sua intuição financeira sugerir-lhe-ia que aquilo tudo somente seria recomendável se não houvesse o vestibular, que exige habilidades muito diversas. Em havendo o vestibular aquilo tudo representaria uma dispersão e que, portanto, tratar-se-ia de uma atitude que deveria ser seriamente desencorajada, pois o que interessaria a esse diretor em primeiríssima instância seria colocar um *outdoor*, em local bastante visível, exibindo para a sociedade a taxa de aprovação de seus alunos no vestibular.

Isso representa o papel negativo desempenhado pelo vestibular o qual, infelizmente, ainda rege, em larga medida, o conteúdo que deve ser ministrado no Ensino Médio e como deve ser aplicado. Esperamos que o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) possa dar passos à frente, mas convém que não acreditemos muito ingenuamente em panaceias. O Ensino de Ciências é por demais complexo para que venhamos a nos contentar com soluções mágicas.

Voltemos aos exemplos.

Segundo exemplo: fórmulas reunindo conceitos pertencentes a diferentes e antagônicos programas de pesquisa

Encontra-se, nos livros de texto de eletromagnetismo, uma fórmula, notadamente no estudo da eletrostática, na qual se expressa, quase sempre sem o acompanhamento de qualquer comentário explicativo, que a força elétrica **F** e o campo elétrico **E** conectam-se como **E = F/q**.

Perguntar-se-ia a propósito,

- Por que colocar numa mesma fórmula um conceito como *força* que historicamente pertence a um programa de ações instantâneas a distância com um conceito como *campo* que pertence justamente a um programa de pesquisa que lhe é antagônico e que encerra uma ação que se propaga no espaço e no tempo, de ponto para ponto no espaço e de instante para instante no tempo?

Para bem entender essa situação seja a seguinte narrativa[6] que no fundo é uma reconstrução racional que tenta conciliar em uma mesma fórmula elementos provenientes de programas de pesquisa diversos e que, além de diversos, são, de fato, antagônicos.

Podemos escrever, por exemplo, em notação hodierna, a lei que expressa a força de interação entre duas dadas cargas supostas pontuais, a assim chamada lei de Coulomb, como $\mathbf{F = (1/4\pi\varepsilon_0)\ Q\ q/r^2}$, onde **r** denota a distância entre elas e $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ a permissividade elétrica no vácuo.

Essa é uma fórmula que expressa ações mútuas exercidas a distância pelas cargas respectivamente **q** e **Q**. Centremos a nossa atenção sobre a força exercida sobre a carga **q** e suponhamos que o valor de **q** seja muito menor que o de **Q**. Quando se introduz nesse contexto explicativo o *conceito* de *campo* eletrostático, introduz-se apenas uma linguagem e não propriamente um conceito no sentido do programa científico de campo que significa ações transmitidas de ponto a ponto no espaço e de instante para instante no tempo e, portanto, não se trata, no sentido eletrostático, de um programa de ações não instantâneas, pois esse *campo* eletrostático continua instantâneo.

No contexto dessa explicação, em vez de se dizer que a carga **q** interage com a carga **Q** a distância e instantaneamente, diz-se simplesmente que a carga **Q** cria em torno de si um *campo* que vale em módulo $\mathbf{E(r)=(1/4\pi\varepsilon_0)\ Q/r^2}$ e que se colocarmos uma carga de *prova* **q** em algum ponto de uma superfície esférica imaginária de raio **r** na qual a carga **Q** esteja no centro da esfera imaginária correspondente, então sobre a carga **q** agirá uma força **F** que é o produto **E(r)q**.

Tal explicação não introduz o conceito de campo no sentido do programa científico de campo, na medida em que esse *campo* eletrostático

[6] Para uma descrição detalhada, ver Bastos Filho, 1999.

continua a transmitir instantaneamente a ação e, a rigor, não se introduz de fato um novo conceito físico. Trata-se, tão somente de uma mudança de linguagem que apenas tornar-se-á efetiva no contexto do eletromagnetismo como um todo, ou seja, no contexto das equações de Maxwell, quando os campos elétrico e magnético são ondas que se propagam no vácuo (região do espaço com densidades de cargas e densidades de correntes nulas) com a velocidade da luz.

Quando se apresenta uma narrativa do gênero em sala de aula e os personagens principais dessa narrativa e que dão nomes às leis físicas correspondentes comparecem como expressando conceitos que não possuíam, aí as coisas se complicam.

É ainda mais grave que tudo isso frequentemente ocorra, ao se atribuir a esses autores conceitos que eram justamente contrários às suas próprias concepções de realidade física.

Torna-se evidente, portanto, que sendo isso feito sem que haja qualquer contraponto por parte do professor, então, a história das controvérsias ou aparece de maneira bastante distorcida ou leva a uma versão que as esconde. Assim, uma história do gênero, ou pseudo-história se quisermos, não contribui para que professores e estudantes de Física possam emitir pareceres razoáveis e bem consubstanciados sobre a natureza do proceder científico.

Terceiro exemplo: a assim chamada equação de Àmpere-Maxwell

Em linha de continuidade explicativa com o exemplo anterior aqui temos um exemplo de uma notação para uma equação que envolve dois personagens pertencentes a distintos e antagônicos programas de pesquisa: Àmpere (1775-1836) um dos nomes seminais do programa de ações a distância e Maxwell (1831-1879) que juntamente com Faraday (1791-1867) são considerados dois nomes seminais do programa científico de campo, ou seja, de ações que se propagam com velocidade finita, ou dito de outra maneira, de ações que se dão de ponto para ponto do espaço e de instante para instante no tempo.

Quando alguém interpreta a corrente de condução como gerando um campo magnético e o atribui a Àmpere, então introduz um erro histórico, pois Àmpere não concebia um campo sendo gerado. O que, de fato, ocorria para ele era uma manifestação de uma ação a distância e não de um campo. Por outro lado, o termo da corrente de deslocamento é concebido dentro do programa de campo no contexto dos campos de Maxwell. Desse modo, julgamos que a assim chamada lei de Àmpere-Maxwell apresentada didaticamente como uma narrativa de reconstrução racional não deva ser ensinada de uma maneira meramente instrumental.

Sem dúvida, ela seria muitíssimo melhor explorada se tudo isso fosse problematizado inclusive, e talvez mesmo quanto à supersimplificação e à superlinearização ensejadas por uma narrativa que se desejando racional, distorce a história das ideias e a história da física, ou no melhor dos casos, pode levar a sérios mal-entendidos.

Dos três exemplos, brevemente analisados, podemos concluir que reconstruções racionais ou ainda narrativas pedagógicas simplificadas de alguns episódios ou de alguns resultados importantes da História da Ciência decorrem da *necessidade*[7] de se lançar mão de um mecanismo de apresentar *atalhos cognitivos* que visem a uma compreensão mais rápida, sem grandes perdas de conteúdo intrínseco e sem necessidade de se enveredar pelos complexos meandros da história das ideias.

Em grande medida essa perspectiva de se encontrar *atalhos cognitivos* é algo contrário à história e também se constitui em uma maneira de se evitar o que os positivistas chamam de tagarelice teológico-metafísica. Claro que se trata de um ponto de vista altamente criticável, pois em nome da necessidade de atalhos muito drásticos e acentuadamente linearizados também desaparecem as marchas e as contramarchas da história, a dialética viva das polêmicas eternamente recorrentes, a imaginação e as conjecturas próprias da natureza da ciência.

A questão dos atalhos cognitivos e o positivismo de Comte

A proposta de uma educação científica que se coadunasse com a fase assim considerada positiva (ou científica) e que consistisse, de fato, em uma superação dos estágios por ele considerados pregressos tais como o teológico em primeira instância e o metafísico em segunda, era parte constitutiva do positivismo de Comte (1798-1857).

Uma educação científica em consonância com o estado positivo era, no parecer de Comte, um requisito da divisão social e intelectual do trabalho e assim nessa fase, tida como a mais avançada da inteligência humana, não se deveria perder tempo em considerações teológicas vazias nem em especulações metafísicas vãs (ver análise consubstanciada de Bastos Filho e Massoni sobre uma eventual influência do positivismo de Comte no movimento *Physics First* nos Estados Unidos da América).

Nesse sentido, Comte argumentou que há, fundamentalmente, duas maneiras de se ensinar as ciências, quais sejam a primeira inserida no que chamou de *educação histórica* e a outra no que denotou por *educação dogmática*; acrescentou ele, ainda, que qualquer outra forma de se

[7] A palavra *necessidade* é chave nesse contexto. Por exemplo, os Manuais científicos simplificadores são necessários para o rápido compartilhamento do *paradigma* dominante característico da prática da *ciência normal* tal como a descrita por Kuhn.

ensiná-las não passaria de uma combinação com ingredientes variados das duas formas aqui referidas.

Por *educação histórica* entendeu Comte como aquela que segue *pari passu* os desenvolvimentos históricos e essa seria inviável para tempos nos quais já imperasse a fase positiva, ou seja, o estágio científico de inteligência. Nesse ponto, e como um requisito da divisão social do trabalho, deveria imperar a *educação dogmática*. Essa última forma de educação consistia, a grosso modo, na constatação, a pleno título, da inviabilidade de uma *educação histórica* extrema pois, a rigor, seria impossível ensinar dois mil anos de desenvolvimentos da cultura da Humanidade no tempo exíguo de um currículo escolar. Esse último a demandar apenas alguns anos de escolaridade. Além do mais, argumenta Comte, não seria possível que feitos grandiosos que demandaram muito esforço de espíritos sutis pudessem ser, minimamente, compreendidos, no contexto de uma *educação histórica*, por espíritos comuns (pessoas normais) em muito menor espaço de tempo.

Partindo dessa constatação, argumentava ele em prol da implantação de uma *educação dogmática* na qual tais desenvolvimentos seriam oferecidos em versões supersimplificadas, preservando-se, contudo, o conteúdo mínimo que interessaria, segundo a concepção positivista de mundo, para o exercício da vida social e das profissões.

Tais versões supersimplificadoras não seriam outra coisa senão *manuais* que deveriam ser seguidos a fim de que as ciências fossem ensinadas no mais breve espaço de tempo possível. Tal ensino deveria basear-se em matrizes curriculares dispostas em ordens hierárquicas de pré-requisitos para as quais o fundamento epistemológico subjacente seria a classificação das ciências segundo Comte. Essa ideia norteava a proposta de uma reforma educacional, e, para isso, uma terminologia apologética e triunfalista foi usada tal como a contida em expressões como *Regeneração da Europa* e a *Regeneração do Ocidente*.

Aspecto importante era a classificação das ciências em ordem crescente de dificuldade como começando pela *matemática* para depois ir para a *astronomia* e em seguida, sempre nesta ordem, para a *física*, para a *química*, para a *biologia (fisiologia)* e por fim culminando na *física social*.

Em ensaio a ser publicado em breve e intitulado *Physics first movement: a positivist inheritance?*, Bastos Filho e Massoni apontaram um paralelo epistemológico entre essa concepção positivista e a do movimento *Physics First* que no fundo tem como elemento subjacente a ideia de redução de um nível de realidade a um nível mais fundamental o que contrasta com a tese emergentista baseada na inerente irredutibilidade da realidade a partir de níveis mais altos para os seus componentes em nível mais fundamental. E tudo isso, mesmo a despeito do positivismo de Comte se ater à ciência da primeira metade do século XIX e o movimento *Physics First* ser um movimento recente de finais do século XX e começos do século XXI.

Reduzir toda e qualquer necessidade de *atalhos cognitivos* a um requisito positivista é, segundo nosso entendimento, uma tese insustentável. Se fosse sustentável, então toda a divulgação científica (expediente cognitivo que necessariamente lança mão de atalhos) seria inserida no contexto de uma concepção positivista e isso seria evidentemente um equívoco. O mesmo poderia se dizer com relação à alfabetização científica. Pode-se perfeitamente prover, e não somente pode-se como almeja-se uma divulgação científica e uma alfabetização científica numa perspectiva libertadora evitando-se excessivas linearizações e distorções da natureza da ciência, o que não significa que seja tarefa simples.

Não é por esse ângulo que o positivismo deve ser combatido. O positivismo deve ser combatido pela sua excessiva recusa da imaginação, da conjectura, da especulação e pela maneira excessiva com a qual se atem aos dados imediatos da experiência, postura epistemológica essa que distorce o próprio fundamento do conhecimento científico.

Na próxima seção teceremos mais algumas considerações sobre atalhos cognitivos por considerarmos que esses são de grande importância para os professores de quaisquer ciências que têm a intenção de inserir em seus cursos a história e a filosofia, enquanto expedientes que melhoram sobremodo a compreensão da própria ciência que cultivam e ensinam, evitando anacronismos e outras armadilhas que a cada instante constituem desafio constante para o professor, a ponto de lhe exigir uma permanente vigilância histórico-epistemológica.

Atalhos cognitivos são necessários?

Encontramos, na literatura das áreas de Ensino de História e de Filosofia, muitas alusões a expedientes que podemos, com alguma liberdade interpretativa, mas nem por isso com excessiva arbitrariedade, considerá-las de uma maneira *lato senso* imbuídas de procedimentos que, a rigor, constituem *atalhos cognitivos*.

Vejamos, a propósito, a teoria da *Transposição Didática* (CHEVALLARD, 1991) que se refere às sucessivas transposições a partir do *saber sábio* para o *saber a ensinar* e deste para o *saber ensinado,* como se pode ver em Alves Filho, Pinheiro e Pietrocola (2001). Em todas essas instâncias de transposição ocorrem, de fato, *atalhos cognitivos* e a vigilância do professor, cujo protagonismo tem lugar, via de regra, na terceira instância, deve ser decisiva para a apresentação e a fidelidade de um conteúdo que, embora seja sobremaneira modificado quanto à sua forma, permaneça ainda pertinente.

Esse é o desafio do professor que como mediador não poderá se furtar da necessidade de emitir pareceres, tomar atitudes, proceder da ma-

neira que melhor lhe convier e que seja a mais judiciosa possível a seu alcance. Novamente, a tensão existente entre um historiador que segue os métodos historiográficos com os procedimentos de um professor que procura narrativas didáticas e reconstruções racionais bem feitas e que ressaltem conceitos e teorias na instância de transposição correspondente ao *saber ensinado* é por demais evidente. Isso deve ser administrado pelo professor e ele não pode se furtar dessa responsabilidade dentro de suas possibilidades.

Pesquisas, relativamente recentes, questionam sobre a validade das leis da transposição didática para certos contextos como, por exemplo, no que concerne aos conceitos da Física Moderna (ver Brockington e Pietrocola, 2005), o que mostra quão complexa é a questão da *transposição didática*.

Vejamos os conceitos de *contexto da descoberta* e *contexto da justificação* propostos por Reichenbach. O *contexto da descoberta* seria relativo ao próprio processo de descoberta, cheio de turbilhões de dúvidas, de possíveis inconsistências e de espaços cinzentos. Tudo isso demandaria um processo de depuração e sistematização que seria remetido para uma instância posterior a qual se denota por *contexto da justificação*. Tal como Alves Filho et al. (2001) apontaram, a passagem do *contexto da descoberta* para o *contexto da justificação* seria, no fundo, uma transposição, mas não propriamente uma *transposição didática* no sentido daquela que vai do *saber sábio* ao *saber a ensinar* e deste para o *saber ensinado* e sim uma transposição no contexto da própria prática do cientista, ou seja, de uma que seria uma *transposição científica*.

Já fizemos menção a uma espécie de transposição (tomando com liberdade o termo e não necessariamente nos reportando à teoria de Chevallard) que se consubstancia em uma *reconstrução racional* cuidadosa, pois essa é necessária para prover uma compreensão crítica e significativa de um dado assunto, pois sem compreendermos bem os conceitos e teorias envolvidos nos conteúdos trabalhados, não seria de forma alguma possível fazer qualquer tipo relevante de *divulgação científica* nem tampouco de *alfabetização científica*, pois essas exigem várias instâncias de transposição e de reconstrução, além de exigirem também situar os contextos e os atores sociais que vão participar desse diálogo necessariamente complexo.

Que tudo isso não se reduz simplesmente a conteúdos é outro assunto, aliás bastante relevante. As habilidades de um bom professor divulgador e alfabetizador científico devem ser muitíssimas, pois ensinar é, sem dúvida, um difícil e complexo mister. Se conteúdos (não conteudismo estreito, e sim conteúdos) são imprescindíveis para o ensino de ciências, então *atalhos cognitivos* sérios e judiciosos são absolutamente necessários.

Outra recomendação que reputamos como bastante relevante é que uma exagerada aderência a uma prática instrumental de ciência tal como a *ciência normal* descrita por Kuhn (1975) também funciona como uma

fábrica de reconstruções tão ligeiras e superficiais que de modo nenhum podem representar uma genuína compreensão dos conteúdos científicos, os quais se acham submetidos à falta de crítica de maneira semelhante àquela que acontece na preparação dos exames vestibulares nos quais o que mais importa é a habilidade para prestar os exames e não a compreensão dos conteúdos, o exercício da cidadania a mais plena possível e a formação que conduza a uma concepção do mundo em que vivemos, conforme podemos encontrar na abordagem de Bastos Filho (2001).

A tese de doutorado de Monteiro (2010) mostrou de maneira convincente que uma das razões pelas quais os professores têm enorme dificuldade de introduzir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio é justamente a maneira excessivamente instrumental e formal com a qual a *aprenderam* de seus antigos professores (ver também Monteiro et al., 2009).

Em suma, *atalhos cognitivos* são absolutamente necessários, mas o professor não poderá abdicar de sua própria autonomia para envidar os seus esforços para separar o joio do trigo.

Observações finais a título de conclusão

Diríamos, concluindo o nosso presente trabalho, que não fazemos coro com aqueles que em nome de um purismo, a nosso ver fora de propósito, não recomendariam as inserções da História e da Filosofia no Ensino de Ciências e, em particular no de Física, com o argumento de que tais inserções poderiam *enfraquecer* o *apetite* dos cientistas em formação ou por motivos outros de gêneros semelhantes. Recomendamos sim, e bastante enfaticamente, que essas disciplinas sejam inseridas e achamos que não inseri-las com o argumento segundo o qual elas poderiam atrapalhar o ensino de ciências e a vocação dos estudantes para realizar pesquisas científicas, constitui-se em uma ideia limitadora do pensamento e consequentemente, consideramos que a recomendação em prol da ignorância de qualquer coisa acompanhada de uma renúncia cognitiva de enfrentar a complexidade do mundo é algo, portanto, para nós, inaceitável, no entanto, isso não significa que qualquer tipo de inserção seja válido.

Uma inserção para ser, genuinamente, relevante requer necessariamente que o professor que a faça esteja predisposto a trabalhar pela sua autonomia intelectual dentro de suas possibilidades e dentro do contexto em que viva. Essa atitude não pode dispensar o exercício da crítica para, a seu modo, o que não significa não estar em sinergia com os demais que leiam, escrevam e pensem sobre o assunto, tomar corajosamente iniciativas que, se espera, sejam judiciosas. Acrescentemos que ser professor deve ser uma atividade intelectual de monta e que um intelectual digno desse nome deve perseguir esse objetivo ainda que lhe pareça utópico.

Se os *atalhos cognitivos* são necessários, o professor de Física autônomo deve tomar as recomendações de rigor dos historiadores e dos filósofos como desafios. É preciso incorporá-los, enquanto desafios, mas cabe ao professor resolvê-los a seu modo lançando mão do que melhor dispõe qualquer pessoa que adote a crítica como principal critério para distinguir o joio do trigo e para formar a sua própria concepção de mundo.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas organizadores: a professora Juliana Hidalgo e os professores Luis Peduzzi e Andre Ferrer, pelo amável convite para escrever este artigo. Agradeço à revisora pelo judicioso trabalho, graças ao qual o texto foi substancialmente melhorado.

Referências

ALVES FILHO, J. P.; PINHEIRO, T. F.; PIETROCOLA, M., A Eletrostática como exemplo de transposição didática. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física* (conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora). Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. p. 77-99.

BASTOS FILHO, J. B.; MASSONI, N. T. *Physics first movement:* a positivist inheritance? (A ser publicado em capítulo de livro organizado por Marco Mamone Capria).

BASTOS FILHO, J. B. A História da Ciência e a Filosofia da Ciência ajudam, atrapalham, ou são irrelevantes para o Ensino de Física? *Norte Ciência*, v. 2, n. 2, p. 111-125, 2011. Disponível em: <http://aparaciencias.org/vol-2.2/15_Jenner_p.111-125.pdf>. Acesso em: 1º mar. 2012.

BASTOS FILHO, J. B. Descartes, Leibniz, Newton and Modern Physics: Plenum, Action at a distance and Locality, In: *La Scienza e i Vortici del Dubbio*. CONTI, L.; CAPRIA, M. M. (Orgs.) Nápoles: Edizioni Scientifiche Italiane, p. 327-356, 1999.

BASTOS FILHO, J. B. A Ciência normal e a educação são tendências opostas? In: *Ciência, ética e sustentabilidade*. BURSZTYN, M. (Org.). 2. ed. São Paulo: Cortez; Brasília: Editora da UnB; Unesco, 2001. p. 61-93. Disponível em: <http://www.sel.eesc.sc.usp.br/informatica/graduacao/material/etica/private/ciencia_etica_e_sustentabilidade_unesco.pdf>. Acesso em: 1º mar. 2012.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica:* del saber sabio ao saber enseñado, Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

COMTE, A. Curso de Filosofia Positiva. In: *Os Pensadores.* São Paulo: Nova Cultural, 1988. Coleção. (Publicado originalmente em 1830).

COPÉRNICO, N. *As Revoluções dos Orbes Celestes.* Tradução portuguesa A. Dias Gomes e Gabriel Domingos e notas de Luiz Albuquerque, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984 [obra originalmente publicada em 1543]. Do texto em latim De Revolutionibus Orbium Coelestium.

CROMBIE, A. C. *Historia de la ciencia:* de San Agustin a Galileo. Madrid: Alianza, 1983.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lectures on Physics,* v. 1, Reading: Addison-Wesley, 1965.

GALILEU, *Duas Novas Ciências.* Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda. São Paulo: Nova Stella Editorial, Ched Editorial, s/d [Originalmente publicado em 1638]. Texto original: Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienzie attenenti alla Mecanica ed ai Movimenti Locali,

GLEISER, M. *A dança do universo:*dos mitos da criação ao Big-Bang, 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras (Editora Schwarcz), 1997.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas.* São Paulo: Perspectiva, 1975. (Livro originalmente publicado em 1962).

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS I,; MUSGRAVE, A. (Orgs.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento.* São Paulo: Cultrix; Editora da Universidade de São Paulo, 1979. p. 109-243.

MARTINS, R. M. Como distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 1 – Física Clássica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 15, n. 3, p. 243-264, 1998. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6886/6345>. Acesso em: 1º mar. 2012.

MARTINS, R. M. Como distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 2– Física Moderna. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 15, n. 3, p. 265-300, 1998. Disponível em: <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6887/6346>. Acesso em: 1º mar. 2012.

MARTINS, R. M., Como não escrever sobre História da Física: um Manifesto Historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 23. n. 1, p. 113-129, 2001. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_113.pdf >. Acesso em: 1º mar. 2012.

MATTEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v.12, n. 3, p.164-214, 1995.

MONTEIRO, M. A. *Discursos de professores e de livros didáticos de Física de Nível Médio em abordagens sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea:* algumas implicações educacionais. 2010. Tese. (Doutorado) – UNESP, Bauru, 2010.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B., A sistemática incompreensão da Teoria Quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Ciência & Ensino*, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009.

NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. Tradução brasileira em língua portuguesa do v. 1 dos Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, traduzidos por Trieste Ricci, Leonardo Gregory Brunet, Sonia Terezinha Gehring e Maria Helena Curcio Célia. [Originalmente publicado em latim em 1687]. São Paulo, Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo, 1990.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência, In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.* Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. p. 151-170.

SILVA, B. V. C. Um debate da escola: A História e a Filosofia da Ciência em foco. *Física na Escola,* v. 11, n. 2, p. 12-15, 2010.

É um imenso prazer dedicar este artigo ao caríssimo amigo Ricardo Ferreira, exemplo a ser seguido de *ética*, *generosidade* e *atitude* perante o *conhecimento*.

OS MODELOS INVESTIGATIVOS ATUAIS NO ENSINO DA FÍSICA E O RECURSO À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

CAPÍTULO 4

Jorge Valadares

Introdução

Começa-se por defender, neste estudo – com a consciência das críticas epistemológicas que têm sido feitas ao construtivismo, mais ou menos explicitamente dirigidas ao construtivismo radical de Glasersfeld e a certas formas de construtivismo social igualmente radicais do ponto de vista epistemológico, – *modelos investigativos de aprendizagem* baseados em bons *ambientes construtivistas e investigativos* e boas *estratégias construtivistas* voltadas para a *aprendizagem significativa*, que se caracterizam de forma sumária, mas clara.

São referidas, *algumas características dos modelos investigativos* atuais. Uma dessas características é o recurso ao pluralismo metodológico propiciador de múltiplas representações dos fenômenos físicos e o outro é o triplo objetivo de os aprendentes serem educados *em Ciência*, *através da Ciência* e *sobre a Ciência* (HODSON, 1998). Não se preocupam, portanto, apenas com os conteúdos, mas também com os processos científicos, procurando fazer com que os alunos familiarizem-se o máximo possível com o trabalho científico, com a natureza construtivista da ciência e com as relações desta com o mundo. Assim, o *domínio dos conteúdos* não é um fim em si mesmo, mas antes um *meio para atingir finalidades enriquecedoras* e que têm a ver com o domínio de *competências* fundamentais, *científicas*, *tecnológicas* e *sociais*, por meio do desenvolvimento do *pensamento crítico construtivo*. Isso não retira a importância aos conteúdos, pelo contrário reforça tal relevância e alarga o âmbito desta.

Um dos recursos mais ricos em termos formativos e que ao mesmo tempo ajuda a cumprir o triplo objetivo a que nos referimos é o *uso de metodologias baseadas na História e Filosofia da Ciência,* muito defendidas por esses modelos investigativos.

É sabido que os *modelos de ensino por descoberta* surgidos nos anos 60 do século passado não corresponderam às expectativas com que foram criados. Mais tarde apareceram os chamados *modelos de ensino para a mudança conceptual* que foram postos em causa nos anos 1990. Atualmente, defendem-se *modelos investigativos* de Ensino da Física que consideram que a aprendizagem é muito mais do que uma mudança conceptual, tanto pode ser significativa por recepção ativa como por descoberta e que é epistemologicamente incorreto aplicar um pseudométodo científico, linear e estereotipado.

Aprender é *mudar da cultura quotidiana para a cultura científica*, muito mais rigorosa, com toda a alteração que isso significa: uma mudança *não só de conceitos*, mas também de várias componentes interdependentes: a *axiológica*, a *metodológica*, a *epistemológica* e a *ontológica* (FURIÓ, 2001, p. 26).

O construtivismo é um conceito tão abrangente que deu cabimento a visões muito diferentes. Tem sido muito criticado, mas essas críticas têm sido mais ou menos explicitamente dirigidas ao construtivismo radical de Glasersfeld e a certas formas de construtivismo social, epistemologicamente, tão ou mais radicais do que aquele.

Tais críticas, que realçam o subjetivismo, o relativismo e o ceticismo e outros *pecados* inerentes a tais construtivismos, de modo algum se adequam a um construtivismo não radical e representacional, epistemologicamente superador das grandes antíteses sobre a origem, natureza e validade do conhecimento científico e que poderá apoiar epistemologicamente os modelos investigativos atuais que defendemos. Esses devem se alicerçar em bons *ambientes construtivistas e investigativos de aprendizagem* e em boas *estratégias construtivistas* voltadas para a *aprendizagem significativa*, respeitando um princípio fundamental que é o de garantir a *prontidão cognitiva* necessária para aprender significativamente o conteúdo a ensinar (AUSUBEL, 2003).

Esses ambientes e estratégias ajudam os alunos a reconhecerem e melhor se apropriarem dos *subsunçores* necessários para assimilarem os novos conhecimentos e também os *ajudam a encontrar os percursos de aprendizagem adequados*. Exigem que os professores e alunos estejam conscientes dos seus papéis e que tanto quanto possível se crie o que *Johnson e Johnson* (1999), valiosos defensores do trabalho cooperativo, chamam uma *interdependência positiva* entre os alunos, um *código de honra* de *todos por um e um por todos* a caminho do sucesso, uma identidade quanto a *objetivos*, a *recompensas*, a *tarefas*, *recursos* e *papéis* a desempenhar. Exigem também que os alunos desenvolvam em alto grau *competências sociais* indispensáveis para um bom trabalho de grupo e uma responsabilidade individual e de grupo e que se estabeleçam *boas relações educativas* entre todos.

Seguindo muito de perto as ideias de *Brooks e Brooks* (1999) e tendo também em linha de conta um construtivismo trivial de cariz humanista, alicerçado nas ideias de *Joseph Novak* (MINTZES; WANDERSEE, 2000), caracteriza-se em seguida o *papel do professor*.

Num ambiente construtivista o *professor* deve:

- procurar conhecer e ter permanentemente em conta os *pontos de vista dos alunos*;
- proporcionar atividades susceptíveis de *pôr à prova as suposições dos alunos*;
- colocar *problemas* cuja *relevância* seja *reconhecida pelos alunos*;

- conceber as suas estratégias em torno de *ideias subsunçoras*[1], *abrangentes* e *gerais*, e ir depois tentando fazer com que os alunos vão subsumindo outras mais específicas por *diferenciação progressiva* para, a determinada altura, serem capazes de construir *ideias superordenadas*[2] com base em *reconciliações integradoras*;
- *avaliar* a aprendizagem dos alunos *de modo contínuo e sistemático* e recorrendo a múltiplas formas e instrumentos de avaliação.

Os *alunos*, por sua vez, deverão assumir a responsabilidade de serem o máximo possível (JONASSEN; TESSMER, 1996):

- *ativos* – para interatuarem com os colegas e com os materiais de aprendizagem que lhes são proporcionados;
- *pesquisadores* – para explorarem todos os recursos de aprendizagem que lhes são facultados numa perspectiva investigativa;
- *intencionais* – procurando, de espontânea vontade, atingir os objectivos cognitivos a cada momento;
- *dialogantes* – envolvidos em diálogos frutuosos uns com os outros e com o professor;
- *reflexivos* – articulando o que aprendem e reflectindo nos processos e nas decisões tomadas;
- *ampliativos* – gerando juízos ou asserções, atributos e implicações com base no que aprenderam.

Tanto o professor como os alunos deverão estar sensibilizados para a *importância das boas relações educativas* no ambiente de trabalho. Para que essas ocorram, terá de haver o máximo *cuidado* de cada um *no relacionamento* com os outros.

Deverão se privilegiar a *construção ativa e significativa do conhecimento* e as *tarefas* dos alunos *adequadas a contextos* tanto quanto possível *próximos daqueles em que o conhecimento é aplicado*, bem como uma *avaliação formadora*[3] voltada não só para a *regulação da aprendizagem* de cada aluno pelo professor, mas também para a *reflexão pessoal*, a *autoavaliação* e a *avaliação de pares* de caráter construtivo.

Deverão ser proporcionadas *múltiplas estratégias* e *instrumentos*, num salutar *pluralismo metodológico* propiciador de *múltiplas representações* dos mesmos fenômenos. E os alunos deverão ser encorajados a refletir criticamente sobre tudo o que vão fazendo, a interagir cordialmente com os colegas, analisando construtivamente os trabalhos destes e ajudando-os, corresponsabilizando-se pelas suas aprendizagens.

Em todo o bom ambiente de aprendizagem há um equilíbrio entre *liberdade controlada* e *responsabilidade compartilhada*.

---

[1] As *ideias subsunçoras*, na estrutura cognitiva de cada indivíduo, *subsumem*, por , outras mais específicas do que elas: essas, ao serem aprendidas, *ancoram-se* nos subsunçores modificando-os e sendo modificadas por eles.

[2] As *ideias superordenadas*, na estrutura cognitiva, surgem quando duas ou mais ideias mais específicas que elas se relacionam entre si para construí-las: a ideia superordenada passa a subsumir as que a originaram.

[3] Forma altamente elaborada de avaliação formativa, proposta por um grupo de investigadores da Academia d'Aix-Marseille, principalmente Nunziati, Bonniol e Amigues (ABRECHT, 1884).

Os modelos investigativos atuais

As mais diversas formas de construtivismo, na década de 1990, invadiram o campo da educação científica. Como resultado, apareceram os *modelos investigativo*s atuais de ensino que, como se disse, procuram criar na sala de aula *ambientes construtivistas de aprendizagem*.

Tendo em conta uma perspectiva construtivista não radical, humanista, individual e idiossincrásica da aprendizagem, mas ao mesmo tempo com a consciência da influência da interação social nela, esses modelos prestam especial atenção ao desenvolvimento das mais diversas competências que serão vitais no futuro profissional dos alunos.

Por outro lado, esses *modelos investigativos* requerem que se estabeleçam objetivos que respondam aos *interesses* dos alunos; que se tenham em conta as suas *crenças* e as *ideias*; que se desenvolvam, tanto quanto possível, *atividades baseadas em problemas* enquadrados numa perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTSA); e que elas se revelem *apropriadas* e *interessantes* para eles.

Os alunos deverão ser envolvidos em processos de *reflexão* e *ação*, com a mediação do professor, que os iniciem e familiarizem o máximo possível com o *trabalho científico* e os problemas do *conhecimento científico* e que os levem a aprender alguns dos *skills* fundamentais que caracterizam a investigação científica, tais como consultar bibliografia; ler cuidadosa e criticamente; observar, classificar, medir e exprimir as medidas; formular hipóteses; deduzir; analisar; descrever; argumentar; explicar; aclarar; formular juízos; rejeitar com fundamento; etc., o que contribui para o desenvolvimento das mais diversas *capacidades fundamentais para a vida social*.

O *grau de abertura das situações de aprendizagem deve variar*, desde aqueles projetos que são totalmente livres dentro de um determinado programa, em que os alunos têm que analisar e problematizar as situações, até os trabalhos que se centram em problemas, objetos e/ou eventos especificados pelo docente e de acordo com a orientação deste (CACHAPUZ; PRAIA; JORGE, 2002). O *conteúdo científico* é considerado importante, mas já não é mais encarado como um fim em si mesmo, tal como sucedia na escola clássica, antes como um meio de pensar e refletir sobre o próprio pensamento acerca da ciência, do mundo e da humanidade.

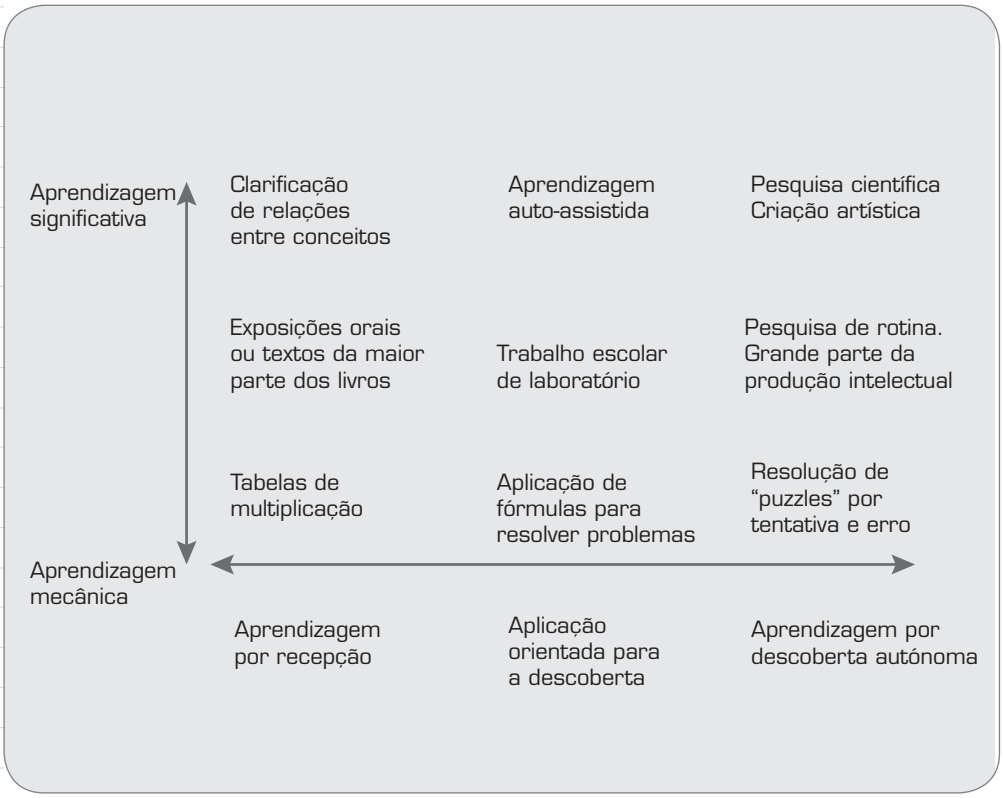
Nesses modelos de investigação que aqui se defendem, o *conhecimento de fundo*, o *conhecimento substantivo* dos conceitos, princípios, teorias e leis científicas, é importante, mas não o é menos o *conhecimento procedimental* ou *processual* que tem a ver com a recolha e processamento da informação, a experimentação, a interpretação dos resultados e a formulação de juízos de conhecimento e de valor. Também se valoriza muito o *conhecimento epistemológico* relacionado com a origem, a natureza e a validade da ciência e a sua relação com a tecnologia, a sociedade e o ambiente, assim como o *conhecimento em ação*, utilizado no dia a dia, que inclui o *poder de comunicar*, as *atitudes* mais diversas

e os *valores* fundamentais para a cidadania. O objetivo é engrandecer a aprendizagem o máximo possível, para o fortalecimento (*empowerment*) do aluno como ser humano.

Esses modelos apresentam muitas características importantes de modelos de ensino que os antecederam. Desde logo, realça-se a importância que é dada ao conhecimento prévio dos alunos e à prontidão cognitiva para assimilarem os conhecimentos que vão estudar. Tal como os modelos para a mudança conceptual, dão muita importância às *misconceptions* (concepções errôneas) como dificuldades conceptuais que os alunos, em geral, revelam nos vários campos da Física, hoje, sobejamente conhecidas. Consideram essas dificuldades, não como desastres conceptuais, mas, pelo contrário, exploram-nas no sentido de proporcionar melhores aprendizagens.

Aceitando a distinção que Ausubel fez entre aprendizagem significativa, aprendizagem cientificamente correta e aprendizagem por descoberta, defendem esses modelos um equilíbrio entre trabalho individual e em grupo, bem como entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta mais ou menos orientada. A Figura 1 demonstra que Tanto a aprendizagem por recepção quanto a aprendizagem por descoberta podem ser mais ou menos significativas.

Figura 1 – As duas *dimensões* da aprendizagem que variam de modo contínuo



Fonte: adaptado de Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 21); Novak e Gowin (1999, p. 24); e Novak (2000, p. 28).

Entre as características, perfeitamente identificativas, desses modelos investigativos sintetizamos aqui as seguintes:

» têm como objetivo que os aprendentes sejam educados *em* Ciência, *por meio da* Ciência e *sobre a* Ciência (HODSON, 1998). Não se preocupam, portanto, apenas com os *conteúdos*, mas também com os *processos científicos*, procurando *familiarizar* o máximo possível o aluno com o *trabalho científico*, com a *natureza construtivista da ciência* e com as *relações* desta *com o mundo*. Assim;

» o *domínio dos conteúdos* tem por objetivo *atingir finalidades enriquecedoras* que têm a ver com o domínio de *competências* fundamentais, *científicas*, *tecnológicas* e *sociais*, por meio do desenvolvimento do *pensamento crítico construtivo*. Isso não lhes retira importância, pelo contrário reforça-a;

» a epistemologia subjacente é uma *epistemologia construtivista* de cariz *humanista*, superadora das grandes antíteses epistemológicas *empirismo-racionalismo, realismo-idealismo e ceticismo-dogmatismo*, que privilegia a interação entre o *pensar* e o *fazer* e é também de *natureza externalista;*

» assentam, tanto quanto possível, numa *problematização do âmbito CTSA*, ou seja em situações problemáticas cuja análise prepare os alunos para, como cidadãos, enfrentarem os variados problemas sociais e éticos. Essa problematização transcende, por vezes, o âmbito disciplinar, apontando para estratégias transdisciplinares;[4]

» o ensino, a aprendizagem e a avaliação têm de estar perfeitamente entrelaçados. Um dos vários objetivos importantes desses modelos é desenvolver nos estudantes a capacidade de controlarem o seu próprio processo de aprendizagem. Para facilitar isso, os professores poderão compartilhar com os alunos, individualmente ou em trabalhos de grupo colaborativos, linhas orientadoras (*guidelines*) com critérios utilizados para avaliar os seus trabalhos. Para o mesmo objetivo é também importante recorrer a estratégias baseadas em instrumentos metacognitivos, por exemplo, *mapas de conceitos* (de Novak) e *diagramas Vê* (de Gowin);

» sem prejuízo da *avaliação sumativa* (que cumpre as finalidades clássicas da avaliação, entre elas a de certificação), deve-se levar a cabo uma *avaliação formativa* e até mesmo *formadora.* Considera-se *fundamental* esta, pois fica perfeitamente integrada no processo de ensino-

[4] Esses modelos serão tão mais exequíveis, na sua amplitude e ambição, quanto mais os , a organização e funcionamento das escolas forem mais adequados a eles e os professores estiverem preparados para levá-los a cabo.

-aprendizagem e é imprescindível para que os estudantes aprendam cada vez melhor, pois não se trata apenas de um instrumento de controle, mas de um *instrumento de formação* do qual o aluno dispõe para atingir os seus objetivos pessoais, e construir o próprio percurso de aprendizagem (NUNZIATI apud ABRECHT, 1994). Combina, de modo harmonioso, uma *avaliação convergente* que incide sobre ***se o*** *aluno sabe*, *compreende* ou *pode fazer* algo que foi pré-determinado, com uma *avaliação divergente* que procura descobrir ***o que*** *o aluno sabe*, *compreende* ou *pode fazer* para além do previsto, mas com importância para o assunto em causa. Trata-se de uma avaliação muito mais *pró-ativa* que a avaliação formativa tradicional, pois com ela procura-se que a *regulação* vá sendo cada vez mais *assegurada pelo próprio aluno*, ajudando-o a prevenir possíveis dificuldades futuras. Para tal, os alunos têm de ir sendo permanentemente esclarecidos acerca do que se pretende atingir em cada tarefa, por pequena que seja, devem ser habituados a *refletir* a todo o momento sobre o que estão a fazer e sobre os possíveis resultados, sobre as estratégias e resultados dos seus colegas e, responsavelmente, sobre os próprios critérios de avaliação dos trabalhos. E, procurando ser um instrumento que ajude os alunos a aprenderem cada vez melhor, a *avaliação formadora* alicerça-se nos *mesmos instrumentos metacognitivos em que se baseia o ensino*, ou seja, os *mapas de conceitos*, os *Vês de Gowin* e outros organizadores gráficos que possam contribuir para o desenvolvimento das capacidades de meta-aprendizagem;

» embora centrados no *trabalho dos alunos*, os modelos investigativos que defendemos exigem do *professor* um papel fundamental, pois compete-lhe ajudar os estudantes em dificuldades, nem que para tal tenha-lhes de *expor* alguns conteúdos de uma forma conceptualmente mais transparente, mas sem perda de rigor (o que nem sempre é fácil), para que eles os assimilem rapidamente por recepção ativa e significativa;

» nesses modelos, o docente deve *alternar os trabalhos individuais e cooperativos* utilizando *materiais de ensino da melhor qualidade* possível com recurso a *diversas fontes credíveis e formas adequadas de recolha e processamento da informação*, incluindo as bibliotecas tradicionais e as digitais;

» as *estratégias de ensino* devem se pautar pelo princípio do *pluralismo metodológico*, que pode implicar o uso simultâneo de alguns dos recursos didáticos mais diversos de que hoje dispomos: leituras individuais comentadas, atividades reais e/ou simuladas de experimentação, demonstrações experimentais, simulações e modelações computacionais com questões para debater, filmes e videogramas,

applets acompanhados de questionários, construção e negociação de mapas de conceitos progressivos, projetos e resolução de problemas com base nos *Vês* heurísticos (de Gowin), visitas didáticas a museus interativos e fábricas e, *the last but not the least*, o recurso à *História e Filosofia da Ciência* como recurso rico de potencialidades didáticas, tal como vamos ver na seção seguinte.

O uso da História e Filosofia da Ciência como uma das metodologias defendidas por estes modelos investigativos já tem sido por nós adotado há vários anos.

Testemunhamos o interesse manifestado pelos alunos de uma turma da *Escola Secundária D. Pedro V* em Lisboa, quando, há cerca de 30 anos, realizamos uma atividade de natureza interdisciplinar (envolvendo a Física e a Filosofia) que se iniciou com a ida a um cinema para assistir à projeção do filme *Galileu* e se prolongou depois com um *debate interdisciplinar* e com a discussão do ponto de vista físico e filosófico do conteúdo do filme, incluindo as observações astronômicas e o tema da *queda dos graves* que ajudaram a desmontar o sistema aristotélico.

É hoje mais do que nunca defendida a *utilização da História e Filosofia da Ciência* no ensino desta. Por meio desse recurso, os estudantes poderão não só *aprender melhor algumas concepções científicas*, como poderão, também, ficar com uma *ideia muito mais correta da Natureza da Ciência* do que se cingindo aos manuais que, de um modo geral, transmitem uma visão bastante dogmática do conhecimento científico. Para além disso, as estratégias alicerçadas na História e Filosofia da Ciência permitem uma maior ligação a outros campos da atividade humana, como sejam o *campo histórico-filosófico*, o *campo político-social*, o *campo tecnológico* e até o *campo econômico*.

Tive oportunidade de lecionar a Termodinâmica numa perspectiva histórica seguindo um dos 6 livros que publiquei nos anos 1970 com um colega – Silva, L.; Valadares, J. (1977) –, dedicado a esse assunto.

O ensino do primeiro princípio iniciou-se com a abolição do conceito de *calórico,* envolvendo os trabalhos de Rumford, Davy e Joule. Seguiu-se a abordagem histórica da equivalência entre calor e trabalho, com as contribuições de Mayer, Joule, Rankine, Hirn, Rowland, Helmholtz, Kelvin, etc. Foi realçado o acontecimento decisivo de, por processos diversos, terem-se atingido valores muito aproximados do equivalente mecânico do calor. Esse acontecimento acabou por ser comprovado pelos alunos, nas aulas práticas, ao realizarem três experiências de determinação desse equivalente, uma de concepção atual, outra recorrendo ao termoergómetro de Viscardi, e a terceira efetuada com uma versão do aparelho de Callender.

O acordo dos valores obtidos foi bastante convincente. Foi também referido que o pioneiro do estudo dessa equivalência foi Sadi Carnot, que obteve um valor (3,44 J/cal) mais aproximado do atual do que o de Mayer (5,8 J/cal). Sadi Carnot é hoje referido apenas a propósito do

2º princípio, porque os seus manuscritos acerca desse tema só foram conhecidos 46 anos após a sua morte, portanto muito tempo depois de serem escritos. Posso afiançar que os alunos sentiram-se bastante motivados com essa abordagem histórica e revelaram bom domínio dos conceitos nos testes realizados.

Quem abordar a Teoria da Relatividade Restrita (TRR), partindo dos dois postulados de Einstein, transmitirá aos alunos uma visão epistemológica racionalista que está longe de corresponder à construção das ideias históricas que tornaram possível o brilhante trabalho desse físico. Quem partir da experiência de Michelson Morley corre o risco de os alunos ficarem com uma visão empirista da construção do que hoje sabemos sobre essa teoria, mas se puder seguir uma abordagem histórica correta (o que obviamente pode não ser possível por razões curriculares) e recuar no caudal de ideias que contribuíram para a TRR, dará uma visão epistemologicamente e até humanamente muito mais correta da ciência que pôde produzir essa teoria tão importante no mundo das altas energias. O Quadro 1 resume uma sequência de contributos científicos que poderão ser desenvolvidos.

Quadro 1 – Uma sequência de contributos para a Teoria da Relatividade Restrita

Data/Época	Contributo para a Teoria da Relatividade
...	...
1725	Estudo da aberração da luz das estrelas por Bradley. Baseia-se no *modelo corpuscular* da luz e na existência do *éter não arrastado pela Terra* e na existência do *espaço* e *tempo absolutos*.
1800 e 1807	Estudo de Young para tentar interpretar as observações de Bradley. Difere deste ao adotar *o modelo ondulatório* e conclui pelo *não arrastamento do éter* pelos astros.
1808 e 1809	Estudo de Arago da aberração da luz das estrelas através de um prisma. Baseia-se no *modelo corpuscular* e *infirma a previsão* de que a aberração deveria depender do sentido da Terra no espaço. A *Terra não arrasta o éter*.
1821	Estudo de Fresnel para interpretar o resultado negativo da experiência de Arago. Baseia-se no *modelo ondulatória* e conclui que *os corpos deverão arrastar parcialmente o éter* de acordo com um coeficiente cuja expressão estabelece.
1851	Trabalho de Fizeau com luz na água em movimento que *confirma o arrastamento parcial do éter e o coeficiente de arrastamento de Fresnel.*
A partir de 1845	Diversas *eletrodinâmicas* (de Fraz Neunamm, de Wilhelm Weber, de Bernhard Riemann, de Hermann Von Helmholtz, de James Clerk Maxwell etc.). Prevalece a ideia de um *referencial absoluto*, o do éter em repouso, e surge a possibilidade de *mostrar o movimento absoluto* no éter. Cria-se um *conflito com a teoria de Fresnel* confirmada por *Fizeau*.
A partir de 1887	Diversos trabalhos de *interferometria luminosa* (de Michelson-Morley com luz terrestre, de Miller com luz solar, de Tomaschek com luz das estrelas, etc.) para detetar o movimento absoluto da Terra no éter. *Nenhuma detectou o movimento absoluto no éter.*

Finais do séc. XIX e princípios do séc. XX	Diversas teorias tentando modificar a teoria de Maxwell (confirmada por Hertz!) que ficaram conhecidas por *teorias da emissão*, por admitirem que a velocidade da luz era constante, não em relação ao éter em repouso, mas em relação à fonte emissora.
Finais do séc. XIX.	*Observações* das estrelas duplas (Sitter, etc.) que mostram que *as teorias da emissão não têm fundamento.*
A partir de 1892	Surgimento e aperfeiçoamento da teoria electrodinâmica de Lorentz, com a hipótese *ad hoc* de que os corpos sofrem uma contração efetiva, por *interação com o éter,* na direção em que se movem, e em que estabelece as expressões das *massas longitudinal e transversal* de um eletrão em função da velocidade. Surge também a teoria de *Abraham*.
1902 e 1903	Medições feitas por *Kaufmann* dos desvios sofridos pelos «raios do rádio» em campos elétricos e magnéticos que *não infirmam as fórmulas de Lorentz*, como também *não infirmam as da teoria de Abraham (diferentes)*.
1905	Estabelecimento da teoria da relatividade restrita por *Einstein.* Adota as fórmulas de transformação de *Lorentz*, mas *sem privilegiar o referencial do éter e sem qualquer interação física com este,* deduz novas *fórmulas da massa transversal e longitudinal,* (*misconception* assumida!), a *fórmula relativista da composição das velocidades (*coerente com o coeficiente de arrastamento de Fresnel) e a *relação massa-energia.*

Seguindo uma abordagem histórica como nesse Quadro se preconiza, a Física humaniza-se. Ressaltam as hesitações, as controvérsias (por exemplo, neste caso, a do arrastamento ou não do éter pelos astros), as *misconceptions* históricas e os cientistas que construíram a Física deixam de ser vistos como uma espécie de deuses infalíveis (que é a imagem que é transmitida pelas estratégias tradicionais de Ensino da Física).

As abordagens históricas ao Ensino da Física ajudam-nos a encarar as dificuldades dos nossos alunos com outros «olhos da mente» e a explorá-las melhor para eles aprenderem melhor. Liberta-os psicologicamente do peso da dificuldade conceptual, pois se os grandes cientistas as tiveram também será natural que eles as tenham. Há, pois, motivos para que os professores conheçam bem a História da Física e a ontogénese das ideias acerca do mundo físico.

Está hoje sobejamente comprovado que os alunos possuem muitas representações acerca do mundo físico, antes de iniciarem o estudo dos mais variados temas da Física, que se afastam mais ou menos das representações científicas. Em cada situação de ensino-aprendizagem interacionam representações da realidade em estudo que são fruto de uma estruturação pessoal e, por isso mesmo, subjetivas, as dos alunos e a do professor.

As representações do professor acerca de um assunto de Física são as que ele construiu a partir das fontes de informação a que recorreu, as quais nem sempre são cientificamente muito corretas. Acontece, pois, que embora, em princípio, os significados que o professor pretende que os alunos assimilem sejam os significados partilhados pelos físicos das comunidades que investigam os assuntos, nem sempre tal sucede. Acontece mesmo, por vezes, que dentro dessas comunidades científicas também existem alguns conflitos de representações.

Tendo em conta que a aprendizagem tem lugar pela construção de novos significados a partir de experiências passadas e presentes, a *estrutura cognitiva* de cada sujeito afeta os significados que atribui às novas experiências. Por isso Ausubel (2003) considerou tão importantes diversos aspectos inerentes a essa estrutura: a *disponibilidade de ideias-âncora* especificamente relevantes e a um nível ótimo de inclusão, generalidade e abstração de modo a serem bem adequadas para integrarem as novas ideias; o *poder de discriminar* umas ideias de outras mais ou menos semelhantes (mas potencialmente confusas) que aparecem nos materiais de instrução; e a *estabilidade* e *clareza* das ideias-âncora. A essas ideias-âncora chamou Ausubel *subsunçores*.

Sobre um tema qualquer que vai estudar, se o aluno possuir *subsunçores*, estes vão interatuar cognitivamente com as ideias novas a que o aluno é exposto. Ausubel estabeleceu a sua visão da cognição humana segundo a qual os subsunçores interatuam com as novas ideias, modificando-se e modificando-as idiossincrasicamente. Esse psicólogo da aprendizagem e outros vêm fundamentar o que eu sempre vi, ao longo da minha experiência de mais de 40 anos de ensino da Física, a constatação de o conhecimento e o pensamento prévio do aluno ser realmente muito importante para a aprendizagem da Física. E foi também por isso que a partir da década de 1980 proliferaram investigações que tiveram como objetivo diagnosticar o conteúdo das *misconceptions* dos alunos (e também de professores) antes, durante e depois de alguma instrução formal. Ao referir-me ao termo *misconception*, que traduzo por *concepção errônea*, faço-o com uma posição epistemológica pessoal que não posso aqui discutir. Ficou explícita na minha tese de doutoramento e tenho-a referido em alguns dos meus trabalhos. Resume-se, essencialmente, na ideia de que as concepções errôneas têm a ver com a própria natureza do conhecimento, a sua origem e a forma como se produz quer na psicogénese das ideias pelos indivíduos, quer na ontogênese das ideias ao longo da história.

Ambos os processos são construtivos e envolvem determinados mecanismos que conduzem a modelos acerca dos objetos/acontecimentos do mundo que em última análise são sempre traduzidos como representações pessoais. Isso leva a que as *misconceptions* não devam ser confundidas com erros grosseiros ou afirmações gratuitas de quem as possui.

Do mesmo modo que não explicito aqui o que penso epistemologicamente acerca das *misconceptions*, também não vou discutir quais as origens dessas *concepções errôneas*, e muito menos, a razão por que elas têm a *homogeneidade* e *universalidade* que têm, porque *persistem* e *resistem* tanto *à mudança* e porque revelam algumas *analogias com ideias que surgiram ao longo da História da Ciência,* conforme se pode ver no Quadro 2.

Este último aspecto é o que nos interessa aqui, porque se pretendermos eliciar, fazer revelar e combater essas ideias errôneas dos alunos, é impor-

tante que conheçamos as ideias históricas que eles, muitas vezes, repetem, quando e como surgiram, as suas características e como evoluíram.

Outras vantagens que o conhecimento da História e Filosofia da Ciência nos oferece é a possibilidade de serem discutidas nas aulas de Física não só as ideias acerca do mundo físico, mas também a sua origem, natureza e validade, a forma como evoluíram, como se relacionaram com outros campos da ciência, outras áreas da cultura e com a sociedade.

Quadro 2 – A analogia existente entre muitas concepções dos alunos e concepções históricas

Concepções de alunos	Ideias históricas
A Terra é plana, estática, com o espaço por cima e uma vertical absoluta com dois sentidos, para cima e para baixo.	Na civilização egípcia supunha-se que a Terra fosse plana e a concepção geostática do mundo sobreviveu até se impor o modelo de Copérnico.
A matéria é contínua e divisível.	Concepção aristotélica que se impôs sobre a atomista.
Entre as partículas de um gás não há vazio, mas pó ou outras partículas, outros gases.	A ideia da inexistência do vazio é aristotélica, tendo perdurado durante muitas centenas de anos.
As partículas de matéria estão apertadas umas contra as outras.	A dificuldade em admitir o vazio é histórica, por influência de Aristóteles.
Um corpo inanimado só se mantém em movimento se for atuado por forças.	*"Com efeito, dizer que estas coisas se movem pela sua própria natureza é impossível, porque isso é próprio dos animais e dos seres animados"* (ARISTÓTELES, in: Física*)*.
A força como uma propriedade ou grandeza interna ao corpo que se move "A bola vinha cheia de força"	Se uma seta se move no ar há uma força interna que a faz mover, um «ímpeto» (vários filósofos adeptos da «teoria do ímpeto»).
"Se a pomos aqui (partida) é preciso que ela tenha um fim para onde vai sempre, ela deve ter o seu lugar natural" (explicação de uma criança de 8:7 para a queda de uma bola, in PIAGET; GARCIA, 1987, p. 76, grifo nosso).	Para os *peripatéticos*, um corpo pesado cai com uma finalidade, o seu movimento natural ocorre porque o fim do elemento «terra» é ocupar o seu lugar natural por baixo dos restantes «elementos».
O peso de um corpo é uma «propriedade oculta do corpo», é uma espécie de «força interna» que faz com que o corpo caia. O corpo cai pela sua própria natureza, sem que nenhuma força o puxe.	*"A natureza* (de um corpo) *é um princípio interno do movimento"* (ARISTÓTELES, in: *Do Céu)*. Para Aristóteles, o movimento natural tem uma causa intrínseca, um «motor interno».
Um corpo em repouso é forçado a mover-se por ação de uma força e move-se apenas enquanto a força atua.	Para os peripatéticos, os movimentos violentos são originados por uma causa externa – um «motor externo». Se esse «motor» deixar de funcionar, o corpo pára.

Um corpo projetado transporta uma força, uma espécie de ímpeto que foi transmitido ao projétil, na direção em que foi projetado e independentemente da direção em que foi projetado.	Buridan explicava o movimento de um projétil afirmando que o «motor» que põe o projétil em movimento lhe comunica uma certa «*virtus motiva*», um certo ímpeto, que atua na própria direção em que o «motor» coloca o projétil em movimento, «quer seja para cima ou para baixo, quer lateral quer circularmente» (PIAGET; GARCIA, 1987, p. 59).
As características reveladas pelos alunos acerca desta força intrínseca do corpo são: - quanto mais rapidamente um corpo se move de encontro a nós "mais força ele trás": - quanto maior for um corpo, «mais força ele tem»: "O pugilista grande exerceu um golpe com mais força no pequeno do que este no grande".	As características do ímpeto de Buridan são as seguintes: - quanto maior a velocidade que «o motor» comunica ao corpo , maior o «ímpeto» que o corpo possui; - quanto maior a quantidade de matéria do corpo, maior o «ímpeto» que ele possui.
Se um corpo se move para cima, há uma força dirigida para cima superior à força gravítica dirigida para baixo.	"O *corpo move-se para cima desde que a força motriz imprimida seja maior do que o peso resistente. Mas tal força é, como vimos, continuamente enfraquecida; finalmente, ela fica tão diminuída que deixa de ser maior do que o peso do corpo e não o impele para além daquele ponto…"* (GALILEU, in *de Motu,* grifo nosso*)*.
Uma esfera que é obrigada a rodar num tubo mantém-se a rodar quando a esfera sai do tubo.	Buridan afirmava que um corpo a rodar tem um ímpeto circular.
O movimento é interpretado como se existisse apenas um espaço de referência privilegiado. A velocidade, a distância percorrida e a trajetória têm um carácter absoluto.	Com Newton havia um espaço privilegiado, o espaço absoluto, e a ideia desse espaço manteve-se até ser destronada pela teoria da relatividade.
A massa como matéria ("um bocado de massa") e identificada com o peso e com um corpo extenso ("que grande massa de água").	A confusão entre corpo, massa e peso perdurou na História da Física e ainda surgia parcialmente em Newton.
A energia é a causa do movimento. "Sem energia não havia movimento" "A eletricidade gera energia e a energia gera movimento"	*"Os escolásticos definiam a energia como sinónimo de força (vis)* [...] *os filósofos medievais chamavam — lhe ímpeto"* *O ímpeto* era uma causa interna de movimento.
Há uma indiferenciação persistente entre os conceitos de energia e força. "A energia é uma força que serve para accionar diversos mecanismos ". "A energia é uma força, um poder, que permite aos seres terem movimento e vida e pode ser transmitida".	Essa indiferenciação persistente é histórica conforme se vê nos seguintes títulos: «*Observacões acerca das forças da natureza inanimada*» (J. Mayer, 1842). «*Sobre a conservação da força*» (Helmholtz, 1847). «*Sobre a força motriz do calor e as leis que podem deduzir-se do estudo desta questão, aproveitáveis para a teoria do calor*» (Clausius, 1850).

"Energia é uma força natural e é também um facto indispensável à vida". "Energia é uma força natural pela qual todos os seres conseguem sobreviver" "Energia é uma força que existe em todos os corpos do universo, que os transforma, que os cria, que os mata. É de origem desconhecida".	Há um *vitalismo histórico* a respeito da energia que vem do tempo da *«vis vita»,* associando-se a energia à capacidade ativa dos seres vivos e às suas diversas formas de atividade, desde a muscular até à neuropsíquica, falando-se de energia psíquica em vez de capacidade volitiva, intelectual etc.
A energia solar é confundida com calor ou energia térmica a propagar-se. "O Sol fornece energia térmica e energia luminosa".	A confusão entre luz e calor é histórica. Assim: - Lambert, em 1777, estendeu ao calor as leis de propagação da luz. - Rochon, em 1783, estudou a «difracção do calor». - Seebeck falava em «raios caloríficos». Quem analisar hoje o capítulo XXIX da 51ª edição de Langlebert (1886, p. 568-579) intitulado «Calor radiante» concluirá que está a estudar Óptica. Jamin, em 1869, falava em calor vermelho, calor amarelo etc..
O frio é uma espécie de fluido que se propaga dos corpos frios para os quentes. "Fecha a porta para não entrar o frio!"	O italiano Della Porta estabeleceu algumas leis acerca da propagação do frio, por exemplo, esta*: "O frio reflecte-se num espelho como o calor"* (SCHURMANN, 1946, p. 189).
O calor é encarado como algo contido nos corpos e que transita dos corpos quentes para os frios. Esta ideia de quantidade de calor contido transparece em certas frases que os alunos pronunciam com convicção de rigor. - "Estou cheio de calor". - "Que calor que está nesta sala!"	O calor foi, durante muitos anos, considerado um fluido imponderável contido nos corpos – *o calórico*, por Joseph Black e seus seguidores, ou por um movimento interno dos corpos. Francis Bacon, por exemplo, afirmava no século XVI, que o calor é um «movimento de «expansão e ondulação das partículas de um corpo». A confusão entre calor e energia interna persistiu, historicamente, associada ao paradigma do éter.
O campo elétrico confundido com a força elétrica.	Faraday chamava linhas de força ao que hoje chamamos linhas de campo.
A concepção de que há duas correntes que fluem até à lâmpada dos dois polos da pilha.	Charles Du Fay, em 1733, estabeleceu a existência de dois tipos de eletricidade, a «vítrea» e a «resinosa», o que originou a ideia da existência de duas correntes de fluido elétrico em sentidos opostos.
A corrente elétrica vista como algo que vai de uma fonte a um sumidouro. "O fluido vai do gerador à lâmpada". "Os volts vão do gerador à lâmpada"	Franklin, em 1747, desenvolveu a teoria de um só fluido elétrico existindo em todos os corpos. O fluido circularia de um corpo com excesso desse fluido (eletrizado positivamente) a outro com deficiência desse fluido (eletrizado negativamente).
A diferença de potencial nos extremos de um condutor percorrido por corrente encarada como uma diferença de carga elétrica nesses extremos. "Este polo tem mais potencial porque tem mais carga".	Quando se pensou que a corrente elétrica envolvia um fluido subtil, os extremos de um condutor com corrente eram encarados como tendo uma diferença na quantidade desse fluido.

O receptor consome o que precisa do gerador enviado diretamente por um só fio que os une (as crianças ligam muitas vezes uma lâmpada por um único fio a um dos polos da pilha).	Corresponde à ideia histórica de um fluido elétrico a passar de um corpo onde existe em excesso para outro.
O olho emite uma espécie de raios visuais que permitem ver.	Platão acreditava que os olhos irradiam luz, sendo esta ideia posteriormente defendida por Euclides e Ptolomeu que defenderam a teoria dos raios visuais.
A distância a que a luz pode viajar é limitada pela extensão do seu efeito visível.	Para os antigos e para os adeptos da teoria dos raios visuais, a luz acabava por ser uma espécie de «bastões» retilíneos que estabeleciam o contato físico com o que se observa.

Algumas atividades de índole histórica

Algumas atividades de índole histórica encontram-se no Anexo para ilustrar como se podem explorar textos históricos de modo que, com base neles, os alunos aprendam Física, por meio da Física e sobre o que é a Física.

Considerações finais

Procurou-se, neste artigo, caracterizar os atuais modelos investigativos de ensino da Física, realçando características próprias e outras que herdaram de modelos anteriores. Uma dessas características é o recurso a diferentes abordagens metodológicas, suscetíveis de proporcionar múltiplas representações dos mesmos fenômenos.

Sem prejuízo de todos os outros recursos metodológicos, fez-se a apologia do uso de metodologias de índole histórico-filosófica, porque muito poderão contribuir para o triplo objetivo que esses modelos atuais têm: *ensinar Física*, levando os alunos a aprender significativamente as concepções físicas atuais, familiarizando-se com a evolução que a elas conduziu e em particular com as dificuldades conceptuais que se levantaram à sua construção e com o modo como foram ultrapassadas; *ensinar sobre a Física*, levando-os a refletir epistemologicamente sobre a construção histórica das ideias sobre o mundo físico e em particular sobre textos históricos, de preferência, originais, de modo a conhecerem a natureza da Física, a sua validade, a relação com a tecnologia, a sociedade e o ambiente; e *ensinar por meio da Física*, diria mais, educar por meio da Física, ao imbuir os alunos de atitudes científicas que resultam de um espírito respeitador da razão e da experiência, de si e dos outros.

Referências

ABRECHT, R. *A avaliação formativa.* Rio Tinto: Edições Asa, 1994.

ARISTÓTELES. *Física.* Tradução espanhola de Sir David Ross. Madrid: Editorial Gredos, S.A., 1936.

AUSUBEL, D. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos:* uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BROOKS, J.; BROOKS, M. In: *Search of Understanding – The case for Constructivist Classrooms*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development, 1999.

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. *Ciência, educação em ciência e ensino das ciências*. Lisboa. Ministério da Educação, 2002. Coleção Temas de Investigação.

EINSTEIN, A. *On the Method of Theoretical Physics.* In: Timothy McGrew, Marc Alspector_Kelly and Frit Allhoff (Eds.), Philosophy of Science, an Historical Anthology. UK: Wiley-Blackwell, 2009.

EULER, L. *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*. Madrid: Alianza Editorial, 1985.

FURIÓ, C. La ensenanza-aprendizaje de las ciencias como investigacion*:* un modelo emergente. In: GUISASOLA J.; PÉREZ de Eulate L. (Eds.). *Investigaciones en Didáctica de las Ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*. Bilbao: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 2001.

GALILEI, G. *Dialogues Concerning Two New Sciences*. New York: Dover Publications, 1954.

GALILEI, G. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*. São Paulo: Discurso Editorial, 2004.

HODSON, D. *Teaching and Learning science – Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press, 1998.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. *Learning together and alone: Cooperative, competitive, and individualistic learning*. Boston: Allyn e Bacon, 1999.

JONASSEN, D.; TESSMER, M. (1996). An Outcomes-Based Taxonomy for Instructional Systems Design, Evaluation and Research. *Training Research Journal*, 2, 1996/97

MINTZES, J.; WANDERSEE, J.; NOVAK, J. *Ensinando A Ciência Para A Compreensão*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000. Coleção Plátano Universitária.

NEWTON, I. *Principia*, Motte's Translation, Revised by Cajori, v. I e II. California: University of California Press, 1934.

NOVAK, J. *Aprender, criar e utilizar o conhecimento*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

PIAGET, J.; GARCIA, R. *Psicogénese e História das Ciências*. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1987.

SCHURMANN, P. (1946). *História de la Física*, 1º e 2º volumes. Buenos Aires: Editorial Nova.

ANEXOS

ANEXO A

Física de Aristóteles versus Física atual

Apresentam-se a seguir excertos da "Física" de Aristóteles, da Editorial Gredos. Baseia-se no texto grego estabelecido por Sir David Ross (Oxford, 1936). Leia atentamente estes excertos para depois poder responder a algumas questões.

> "Posto que em toda a investigação sobre coisas que têm princípios, causas ou elementos, o saber e a ciência resultam do conhecimento destes – já que só acreditamos conhecer uma coisa quando conhecemos as suas causas primeiras e os seus primeiros princípios e incluso seus elementos – é evidente que também na ciência da natureza temos de tentar determinar em primeiro lugar quanto se refere aos princípios.
>
> A via natural consiste desde o que é mais claro e cognoscível para nós até ao que é mais claro e cognoscível por natureza, porque o cognoscível com respeito a nós não é o mesmo que o cognoscível em sentido absoluto. Por isso temos de proceder desta maneira: desde o que é menpos claro por natureza, mas mais claro para nós ao que é mais claro e cognoscível por natureza". (Livro I, p. 82-83).
>
> "Algumas coisas são por natureza, outras por outras causas. Por natureza, os animais e as suas partes, as plantas e os corpos simples como a terra, o fogo, o ar e a água – pois dizemos que estas e outras coisas semelhantes são por natureza. Todas estas coisas parecem diferenciar-se das que não são por natureza, porque cada uma delas tem em si mesmo um princípio de movimento e de repouso, seja com respeito ao lugar ou ao aumento ou à diminuição ou à alteração. (...) Porque a natureza é um princípio e causa do movimento ou do repouso na coisa a que pertence primariamente e por si mesma, não por acidente. (...) Natureza é, pois, o que se afirmou. E as coisas que têm tal princípio dizem que «têm natureza». Cada uma destas coisas é uma substância, pois é um substrato e a natureza está sempre num substrato. E diz-se que são «conforme a natureza» todads essas coisas e quanto lhes pertence por si mesmas, como o fogo ao deslocar-se para cima; pois este deslocamento não é «natureza», nem «tem natureza», mas é «por natureza» e «conforme a natureza»". (Livro II, p. 128-130).
>
> "Feitas estas distinções, teremos que examinar as causas, quais e quantas são. Osto que o objeto desta investigação é o conhecer e não acreditamos conhecer algo se antes não tivermos esatabeleido em cada caso o «porquê» (o qual significa captar a causa primeira), é evidente que teremos que examinar quanto se refere à geração, à destruição e a toda a mudança natural, a fim de que, conhecendo os seus princípios, possamos tentar referir a eles cada uma das nossa investigações. Neste sentido diz-se que é causa (1) aquele consti-

tuinte interno de que algo é feito, como por exemplo o bronze com respeito à estátua ou à prata com respeito à copa e os géneros do bronze e da prata.

Noutro sentido (2) é a forma ou o modelo, isto é, a definição da essência e os seus géneros (como a causa de uma oitava é a relação do dois ao um e, em geral o número), e as partes da definição.

Noutro sentido (3) é o princípio primeiro de onde provêm a mudança ou o repouso, como o que algo exige é causa, como é também causa o pai no que respeita ao seu filho (...) E noutro sentido (4), causa é o fim, isto é, aquilo para o qual é algo, por exemplo, o passear a respeito da saúde." (Livro II, p. 140-142).

"Posto que a natureza é um princípio do movimento e da mudança, e o nosso estudo versa sobre a natureza, não podemos deixar de investigar o que é o movimento; porque se ignorássemos o que é, necessariamente ignoraríamos o que é a natureza. (...)

Pois bem, não há movimento fora das coisas, pois o que muda sempre muda ou substancialmente, ou quantitativamente, ou qualitativamente ou localmente". (Livro III, p. 176-177).

(...) "Além disso, os deslocamentos dos corpos naturais simples como o fogo, a terra, e outros semelhantes, não só nos mostram que o lugar é algo, mas sim também que exerce um certo poder. Porque cada um destes corpos, se nada o impede, é levado para o seu lugar próprio, uns para cima outros para baixo. Estas são as partes ou espécies do lugar, o acima o abaixo e o resto das seis direções. Pois bem, estas direções (acima e abaixo, direita e esquerda, etc.) não só são tais com respeito a nós próprios, já que para nós uma coisa não está sempre na mesma direção, mas também mudam segundo muda a nossa posição, podendo assim uma mesma coisa estar à direita ou à esquerda, acima e abaixo, diante e de trás. Mas na natureza cada uma é distinta, independentemente da nossa posição, pois o «acima» não é uma direção casual, mas sim aonde são levados o fogo e os corpos ligeiros, e da mesma maneira o «abaixo» tão pouco é uma direção casual, mas sim aonde são levados os corpos pesados e terrestres, de maneira que ambas as direções diferem não só com respeito à posição mas sim também por um certo poder". (Livro IV, p. 222 e 223)

"Se há um deslocamento natural de cada um dos corpos simples (por exemplo do fogo para cima e da terra para baixo e para o centro), é evidente que o vazio não pode ser a causa desse movimento.(...)

Além disso, se fosse como um lugar desprovido de corpo, quando há um vazio, para onde se deslocaria um corpo que tivesse sido introduzido nele? Não em todas as direções do vazio, certamente (...)

Por outro lado, todo o movimento é por violência ou por natureza. Mas se há um movimento violento, então tem que haver um movimento natural (porque o movimento violento é contrário à natureza e o movimento contrário à natureza é posterior ao que é segundo a natureza. (...) Mas como poderá haver um movimento natural se não há nenhuma diferença no vazio e no infinito? Porque no infinito, como infinito que é, não há acima nem abaixo nem centro, e no vazio, como vazio que é, o acima não dfere em nada do abaixo (porque assim como no nada não há nenhum diferença, tão pouco o há no vazio, pois pensa-se que o vazio é um certo não-ser e uma privação) (...)

Vemos que um mesmo peso e corpo se desloca mais rapidamente que outro por duas razões: ou porque é diferente aquele através do

qual passa (como o passar através da terra, da água ou do ar), ou porque o corpo que se desloca difere de outro pelo excesso de peso ou ligeireza, ainda que os outros fatores sejam os mesmos. (...)

Assim, o corpo A deslocar-se-á através do meio B no tempo C. E através do meio D (que é menos denso) no tempo E; se os comprimentos de B e D são iguais, os tempos C e E serão proporcionais às resistências dos meios. Sejam então B água e D ar; como o ar é mais ligeiro e menos corpóreo que o ar, A passará mais rapidamente através de D que através de B. Haverá então entre ambas as velocidades a mesma proporção que aquela pela qual o ar se diferencia da água. Desta maneira, se o ar é duas vezes mais subtil que a água, A passará através de B no dobro do tempo que através de D, e portanto o tempo C será o dobro que o tempo E. E sempre, quanto mais incorpóreo e menos resistente e mais divisível for o meio através do qual o corpo se desloca, tanto mais rapidamente o atravessa.

Mas não há nenhuma proporção segundo a qual o vazio seja superado por um corpo, como não há nenhuma proporção entre o nada e um número. (...).

Mas se num tempo dado se atravessa um meio mais subtil em um dado comprimento, o deslocamento atrabés do vazio (no mesmo tempo), superaria em alteração toda a proporção". (Livro IV, p. 252-256).

"Suponhamos que A é o movente, B a coisa movida, C a distância segundo a qual é movida e T o tempo no qual é movida: Então, 1) no tempo T uma força igual a A fará que algo que é a metade de B se mova sobre o dobro da distância C, e 2) o fará mover na distância C na metado do tempo T, pois desta maneira se manterá a proporção. E 3) se a força A faz mover B sobtre a distância C no tempo T, também fará mover B sobre a metade de C na metade do tempo T, e 4) uma forma igual à metade de A moverá a metade de B sobre a distância C no tempo T. Assim, por exemplo, seja E a metade da força A, e F a metade da coisa movida B; então, a relação entre as forças e os pesos será semelhante e proporcional em um e outro caso, de tal maneira que cada força fará que a mesma distância seja percorrida no mesmo tempo". (Livro VII, p. 414).

Questionário

Responda às seguintes questões fundamentando-as o melhor possível:

1. Tendo em conta que Platão defendia que devemos assentar o nosso conhecimento nas ideias, pois só elas são rigorosamente verdadeiras, quue devemos caminhar «de cima para baixo», dos princípios ao conhecimento dos fenómenos, podemos concluir que o método defendido por Aristóteles para conhecer a natureza é idêntico ao de Platão?
2. O objeto da Física de Aristóteles é o mesmo da Física atual?
3. Na Física de Aristóteles, tal como na Física atual, um objeto não é capaz de se por em movimento ou de parar por si, exigindo-se a atuação de forças exteriores para tal?
4. Afirma-se que a Física de Aristóteles é teleológica (do grego *téleios* = do fim+ *lógos* = palavra, tratado). Por quê? A física de hoje também se pode considerar um conhecimento teleológico?
5. Ao contrário do que se poderia pensar, para Aristóteles nem tudo o que é ou sucede, é para um fim. Assim, por exemplo, um eclipse do Sol não tem para ele uma causa final. E que um animal tenha olhos é para um fim, mas que eles sejam azuis ou verdes não é para um fim. Podemos então dizer que a Física aristotélica é uma teleologia universal?
6. Conhecer algo para Aristóteles implicava conhecer quatro causas: a material, a formal, a eficiente e a final. Escolha um exemplo e concretize estas causas.
7. Há coisas que são reciprocamente causas e Aristóteles referiu este facto na sua Física. Dê um exemplo.
8. O conceito de movimento em Aristóteles é idêntico ao da Física atual? Quantos tipos de movimentos existem na Física de Aristóteles?
9. O termo substância que Arustóteles utuliza na sua Física é muito diferente do termo científico atual substância e aproxima-se muito mais do termo matéria. Fundamente esta afirmação.
10. Como se explica na Física aristotélica a queda de um corpo pesado, uma pedar por exemplo: como sendo um movimento forçado por uma espécie de força gravítica, ou um movimento natural que a pedra tem para ocupar o seu lugar natural?
11. Em uma fase do texto Aristóteles argumenta contra a existência do vazio que tinha sido defendido pelos atomistas (segundo eles tudo é formado de átomos e vazio).

11.1. Qual é o primeiro argumento que utiliza?

11.2. O segundo argumento que utiliza recorre a uma relação entre a velocidade de um corpo e a resistência do meio no qual se desloca. Traduza essa relação numa expressão matemática e recorra a essa expressão para mostrar que se ela fosse válida com ela o vazio não poderia existir de facto.

12. Uma parte do texto refere-se à relação dinâmica de Aristóteles entre as forças e os movimentos.

12.1. Aristóteles recorreu ao controlo de variáveis (fundamental em qualquer trabalho científico) para estabelecer essa relação?
12.2. Escreva a lei dinâmica de Aristóteles em linguagem matemática atual, substituindo o «corpo» ou o «peso» a que Aristóteles pela grandeza massa (eliminando uma confusão que persistiu durante cerca de mil anos após Aristóteles).
12.3. Compare a expressão com a equação fundamental da dinâmica de Newton e mostre através da análise dimensional que a lei aristotélica não pode estar correta.

ANEXO B

O paralogismo de Aristóteles e Ptolomeu

Leia com atenção o seguinte excerto da obra de Galileu Galilei intitulada «Diálogo sobre os dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano». Toda a obra é escrita na forma de diálogo entre três personagens: **Salviati**, que é uma espécie de porta-voz do próprio Galileu, e portanto defensora do modelo coperniciano, heliocêntrico; **Simplício**, que é uma personagem conservadora, portanto arreigada à teoria aristotélica e ao modelo cosmológico geocêntrico de Ptolomeu, e **Sagredo** que é a personificação de uma pessoa culta e imparcial.

> ***Salviati*** - (…) Afirma, portanto, *Aristóteles*, que um argumento certíssimo da imobilidade da Terra é vermos os projécteis subirem perpendicularmente e retornarem, pela mesma linha, ao mesmo lugar de onde foram atirados, e isso, ainda que o movimento fosse altíssimo; o que não poderia acontecer quando a Terra se movesse, porque no tempo em que o projéctil se movesse para cima e para baixo, separado da Terra, o lugar onde teve início o movimento do projéctil afastar-se-ia, devido à rotação da Terra, por um longo espaço para levante, e por tanto espaço, ao cair, o projéctil percutiria sobre a Terra afastado do lugar mencionado: de modo que aqui se ajusta o argumento da bala atirada para o alto pela artilharia, como também o outro argumento usado por *Aristóteles* e *Ptolomeu*, que é o de ver os graves que caem de grandes alturas chegar por linha recta e perpendicular à superfície terrestre. Ora, para começar a desatar esses nós, pergunto ao Sr. *Simplício*, quando outros negassem a *Ptolomeu* e *Aristóteles* que os graves, ao caírem livremente do alto, chegam por linha recta e perpendicular, ou seja, directa para o centro, com qual meio ele o provaria.
>
> ***Simplício*** - Por meio dos sentidos, que nos asseguram que aquela torre é recta e perpendicular e mostram que aquela pedra, ao cair, vem rasando a torre, sem inclinar-se um só cabelo para esta ou para aquela parte, e bate exactamente no pé do lugar onde foi largada.
>
> ***Salviati*** - Mas se por acaso o globo terrestre se movesse circularmente, e, consequentemente, levasse consigo também a torre e que,

de qualquer modo, se visse a pedra ao cair vir rasando o fio da torre, qual deveria ser o seu movimento?
Simplício - Seria preciso dizer nesse caso antes "os seus movimentos"; porque um seria aquele com o qual viria do alto para baixo, e deveria possuir um outro para acompanhar o curso da torre.

Salviati – O seu movimento seria, portanto, composto por dois, ou seja, daquele com o qual ela mede a torre, e do outro com o qual ela a segue: movimento composto do qual resultaria que a pedra não mais descreveria aquela simples linha recta e perpendicular, mas uma transversal, e talvez não recta.

Simplício - Que não seja recta, não o sei; mas compreendo bem que necessariamente seria transversal, e diferente da outra recta perpendicular, que ela descrevia estando a Terra imóvel.

Salviati - Portanto, de apenas ver a pedra cadente rasar a torre, não podeis seguramente afirmar que ela descreva uma linha recta e perpendicular, se antes não se supuser que a Terra esteja parada.

Simplício - Assim é; porque, se a Terra se movesse, o movimento da pedra seria transversal e não, perpendicular.

Salviati - Aqui está, portanto, o paralogismo de *Aristóteles* e *Ptolomeu* evidente e, claro, descoberto por vós mesmos, no qual se supõe como conhecido o que se pretende demonstrar". (...)

Simplício - Assim é; porque, para querer que a pedra descesse rasando a torre, quando ela fosse levada pela Terra, seria necessário que a pedra tivesse dois movimentos naturais, a saber, o recto em direcção ao centro e o circular em torno do centro, o que é impossível.

Salviati - Portanto, a defesa de *Aristóteles* consiste em ser impossível ou, pelo menos, em ter ele julgado impossível que a pedra pudesse mover-se com um movimento misto de recta e circular; porque, quando ele não tivesse considerado impossível que a pedra se pudesse mover concomitantemente para o centro e em torno do centro, ele teria reconhecido que poderia acontecer que a pedra cadente pudesse descer rasando a torre, tanto se esta se movesse, como se estivesse parada e, consequentemente, teria percebido que desse rasar não se poderia inferir nada acerca do movimento ou do repouso da Terra. Mas isto de modo algum desculpa *Aristóteles*, não somente porque devia tê-lo dito, quando ele tivesse tido tal conceito, sendo um ponto tão essencial de sua argumentação, mas ainda mais porque não se pode afirmar nem que tal efeito seja impossível, nem que *Aristóteles* o tenha considerado impossível. Não se pode afirmar o primeiro, porque em breve mostrarei que ele não é somente possível, mas necessário; nem tampouco se pode afirmar o segundo, porque o próprio *Aristóteles* concede que o fogo vai para cima naturalmente em linha recta e se move girando com o movimento diurno, participado pelo céu a todo o elemento do fogo e à maior parte do ar; se, portanto, não é impossível misturar o movimento recto para cima com o circular comunicado pelo côncavo lunar ao fogo e ao ar, muito menos deveria considerar impossível o movimento recto para baixo da pedra com o circular, que fosse natural de todo o globo terrestre, do qual a pedra faz parte.

Simplício - Para mim não parece o mesmo, porque, quando o elemento do fogo gire conjuntamente com o ar, é algo muito fácil, e mesmo necessário, que uma partícula de fogo que da Terra se dirija

para o alto, ao passar pelo ar móvel, receba o mesmo movimento, sendo um corpo tão ténue, leve e facílimo de ser movido; mas que uma pesadíssima pedra ou bala de artilharia, que do alto venha para baixo e que, imediatamente que seja deixada a si mesma, deixe-se transportar pelo ar ou por outra coisa, é totalmente inopinável. Além disso, existe a experiência tão apropriada da pedra que se deixa cair do alto do mastro do navio, a qual, quando o navio está parado, cai ao pé do mastro, mas, quando o navio se move, cai tão longe desse mesmo término, quanto é o espaço que o navio percorreu durante o tempo da queda da pedra; o que não são poucas braças, se o movimento do navio é veloz.

Salviati - Há uma grande diferença entre o caso do navio e aquele da Terra, quando o globo terrestre tivesse o movimento diurno. Pois é evidentíssimo que o movimento do navio, assim como não é o seu movimento natural, assim também é acidental para todas as coisas que estão nele, pelo que não causa espanto que aquela pedra, que era mantida no cimo do mastro, deixada em liberdade, caia para baixo, sem a obrigação de seguir o movimento do navio. Mas a rotação diurna é posta como movimento próprio e natural do globo terrestre e, consequentemente, de todas as suas partes, e enquanto impresso pela natureza é indelével nelas; e, por isso, aquela pedra que está no alto da torre tem, como um instinto primário, de girar em torno do centro de seu todo em vinte e quatro horas, e este talento natural ela o exercita eternamente, em qualquer estado em que esteja posta. E para que vos persuadais disso, não deveis outra coisa que mudar uma impressão inveterada posta em vossa mente, e dizer: "Assim como, por ter até aqui considerado que é propriedade do globo terrestre ficar imóvel em torno do seu centro, nunca tive dificuldade ou aversão alguma em compreender que qualquer das suas partículas fique também naturalmente no mesmo repouso; assim também é necessário que, quando o globo terrestre tivesse o instinto natural de girar em vinte e quatro horas, seja também de cada parte sua a inclinação intrínseca e natural de não estar parada, mas seguir o mesmo curso." (...)

Simplício - Não consigo entender que o ar possa imprimir a uma grandíssima pedra ou a uma espessa bala de ferro ou de chumbo, que pesasse, por exemplo, duzentas libras, o movimento com o qual ele mesmo se move e que, por acaso, ele comunica às penas, à neve e a outras coisas levíssimas; ao contrário, vejo que um peso daquele tamanho, ainda que fosse exposto a qualquer vento mais impetuoso, não seria afastado do seu lugar um só dedo: pensai agora que o ar seria capaz de levá-lo consigo!

Salviati - Há uma grande diferença entre a vossa experiência e o nosso caso. Vós fazeis sobrevir o vento àquela pedra posta em repouso; e nós expomos ao ar, que já se move, a pedra, que também se move com a mesma velocidade, de modo que o ar não lhe deve conferir um novo movimento, mas somente lhe manter ou, para dizê-lo melhor, não lhe impedir o já concebido: vós quereis lançar a pedra com um movimento estranho e fora da sua natureza; e nós, conservá-la no seu movimento natural." (...)

Simplício - Seria necessário poder efectuar uma tal experiência e depois julgar de acordo com o acontecido; entretanto, o efeito do navio mostra até aqui aplaudir a nossa opinião.

Salviati - Bem dissestes até aqui; porque talvez daqui a pouco poderia mudar de aspecto. E para não vos deixar ansioso, poderíeis, *Sr.*

Simplício, responder-me: parece-vos, intimamente que a experiência do navio esteja tão bem ajustada ao nosso propósito, que se deva razoavelmente acreditar que o que acontecer nela, deva acontecer também para o globo terrestre?

Simplício - Até aqui pareceu-me que sim; e embora tenhais acrescentado algumas pequenas diferenças, não me parece serem suficientes neste momento para fazer-me mudar de opinião.

Salviati - Ao contrário, desejo que persevereis nela, e sustenteis firmemente que o efeito da Terra seja correspondente ao do navio, desde que, quando isso se descobrisse prejudicial à vossa necessidade, não pretendesseis mudar de idéia (…) Muito bem! Fizestes alguma vez a experiência do navio?

Simplício - Nunca a fiz; mas acredito que aqueles autores que a propõem, a tenham diligentemente observado: além de que se conhece tão claramente a causa da desigualdade, que não deixa lugar para a dúvida.

Salviati - Que é possível que aqueles autores a proponham sem tê-la efectuado, vós mesmos sois um bom testemunho, porque sem tê-la feito considerais que é certa, sujeitando-vos de boa-fé ao que é dito por eles: do mesmo modo que não somente é possível, mas necessário, que tenham feito eles também, ou seja, de remeter-se a seus antecessores, sem que se chegue jamais a alguém que a tenha feito; porque qualquer um que a fizer, encontrará que a experiência mostra totalmente o contrário do que está escrito: ou seja, mostrará que a pedra cai sempre no mesmo lugar do navio, esteja ele parado ou movendo-se com qualquer velocidade. Donde, por ser a mesma razão válida para a Terra e para o navio, da queda da pedra sempre perpendicularmente ao pé da torre nada se pode inferir sobre o movimento ou o repouso da Terra.

Simplício - Se vós me remetesseis a outro meio que não à experiência, creio que nossas disputas jamais terminariam, porque esta me parece uma coisa tão distante de todo o discurso humano, que não deixa o mínimo lugar para a credulidade ou para a probabilidade.

Salviati – E ainda assim deixa lugar em mim.

Simplício – Então, não fizestes cem provas e nem mesmo uma, e afirmais tão francamente que ela é certa? Retorno à minha incredulidade e à mesma certeza que a experiência tenha sido feita pelos principais autores que dela se servem, e que ela mostre o que eles afirmam.

Salviati – Eu, sem experiência, estou certo de que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga; e acrescento que vós mesmos sabeis muito bem que não pode acontecer diferentemente, ainda que finjais, ou simuleis fingir não o saber". (Galileu Galilei, 2004, pp 220-226)

Questionário

Depois de lido atentamente e discutido em grupo o texto, respondam de modo fundamentado às seguintes questões:

1. Façam um esquema simplificado do *modelo geocêntrico de Ptolomeu*.
2. Façam um esquema simplificado do *modelo heliocêntrico de Copérnico*.
3. Expliquem, com base num esquema, o *argumento* usado por *Aristóteles* e também por *Ptolomeu* para mostrar que a Terra tem de estar imóvel, e que está referido no texto
4. Interpretem, com base num esquema, a *experiência conceptual de Galileu* para mostrar que a Terra poderia não estar imóvel e o resultado da experiência ser o mesmo para quem estivesse fixo na Terra.
5. Por que motivo *Galileu*, na voz de *Salviati*, chamou ao *argumento* de *Aristóteles* e *Ptolomeu*, um *paralogismo* e porque se trata de um raciocínio circular, ou seja um ciclo vicioso?
6. Qual é a *lei da Mecânica*, que não era conhecida no tempo de *Aristóteles*, que está na base dos argumentos de *Galileu* e que permite interpretar a experiência do navio? Realcem uma porção do texto onde está explícito o conteúdo dessa lei.
7. Admitindo que *Simplício* (cujo nome é o de um célebre comentador da teoria de *Aristóteles*) defende a visão aristotélica acerca da origem do conhecimento, essa visão aristotélica era fundamentalmente empirista ou racionalista?
8. *Galileu* era um empirista, ou seja admitia que a origem única e limites de validade do conhecimento fica totalmente circunscrito à experiência, subalternizando o raciocínio, ou sabia relativizar o valor da experiência e recorrer também ao poder da razão ou raciocínio? Fundamentem recorrendo ao texto.
9. Qual o «*pecado» científico de Simplício* e que *Galileu* se esforçou por mostrar, em toda a sua obra, que era um problema inerente à *Física de Aristóteles*?
10. Destaquem uma parte do texto onde *Galileu* se refere a uma importante atitude do espírito científico e qual é essa atitude?
11. O *sistema aristotélico* admitia a ideia de *Empedocles* de que tudo o que existe no «mundo sub-lunar» é formado com base na mistura, em proporções diferentes, de *quatro «elementos»* o «*ar*», a «*água*», a «*terra*» e o «*fogo*», quatro essências, cada uma com o seu lugar natural O texto refere-se a um desses «elementos» e, com base nele, *Galileu* tenta mostrar uma *contradição no raciocínio de Aristóteles*. Qual é essa contradição no raciocínio do grande filósofo grego?
12. *Aristóteles* tinha uma *concepção teleológica da Natureza*. Segundo ele todos os corpos naturais movem-se com base em diversas *causas*, uma das quais era a *causa final*. Todos os corpos, na Natureza tendem a alcançar um lugar natural e a perfeição que lhes é própria. Recorrendo a fontes acerca da Física aristotélica e ao que já estudaram acerca da Física dita newtoniana, construam uma tabela pondo em contraste as principais características dessas duas físicas.

ANEXO C

Uma concepção histórica acerca da Natureza e da Ciência física

Leia atentamente o seguinte texto extraído de uma obra que *Galileu* escreveu na forma de diálogos e que diz respeito à sua obra «*Duas Novas Ciências*»:

> "Quando observo, portanto, uma pedra que cai de uma certa altura, partindo de uma situação de repouso e que vai sofrendo continuamente novos incrementos de velocidade, porque não acreditar que tais aumentos de velocidade acontecem de um modo que é o mais simples e evidente possível para todos? Pois bem, se observarmos com certa atenção o problema, não encontraremos nenhum incremento ou adição mais simples do que aquele que se repete sempre do mesmo modo. Isto o entenderemos facilmente se considerarmos a relação tão estreita que existe entre tempo e movimento: exactamente como a uniformidade do movimento se define e concebe na base da igualdade dos tempos e dos espaços (com efeito, chamamos movimento uniforme àquele em que em tempos iguais são percorridos espaços iguais), assim também, mediante uma subdivisão uniforme do tempo, podemos imaginar que os aumentos de velocidade têm lugar sem complicação. Podemos então conceber teoricamente um movimento como uniformemente e continuamente acelerado como aquele em que, em tempos iguais, quaisquer que estes sejam, ocorrem incrementos iguais de velocidade" (GALILEU GALILEI, 1954, p. 161).

Questionário

A propósito deste texto:

1) Escreva um pequeno ensaio acerca do pensamento que *Galileu* apresenta neste texto, tendo em atenção os seguintes aspectos:
- a concepção acerca da Natureza que *Galileu* revela;
- algum possível princípio metodológico que se vislumbre no texto;
- possível relação do *pensamento de Galileu* e o de um filósofo do século XIV, *Guilherme de Ockham*;
- repercussão do seu pensamento no uso da linguagem matemática;
- relação com o pensamento aristotélico acerca do modo de conhecer os fenômenos físicos.

2) Explique a forma peculiar de *Galileu* conceptualizar o movimento uniformemente acelerado, relacionando a velocidade com o tempo e não com o espaço percorrido.

3) Traduza em linguagem matemática as caracterizações que *Galileu* faz do movimento uniforme e do movimento uniformemente acelerado.

ANEXO D

Hipotheses non fingo (Isaac Newton, p. 25)

Leia os seguintes trechos da obra mais importante de Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematics* (ed. da *University of California Press*[5]).

> "(...) e, portanto, ofereço este trabalho como os princípios matemáticos da filosofia, pois toda a essência da filosofia parece consistir nisso – a partir dos fenómenos do movimento, investigar as forças da natureza e, então, dessas forças demonstrar os outros fenómenos; e é para esse fim que são dirigidas as proposições gerais no primeiro e segundo Livros. No terceiro Livro, dou um exemplo disso na explicação do Sistema do Mundo; pois, pelas proposições matematicamente demonstradas nos Livros anteriores, no terceiro derivo a partir dos fenómenos celestes as forças da gravidade com as quais corpos tendem para o Sol e para os vários planetas. Então a partir dessas forças, por outras proposições que também são matemáticas, deduzo os movimentos dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar. Gostaria que pudéssemos derivar o resto dos fenómenos da Natureza dos princípios mecânicos pelo mesmo tipo de raciocínio, pois, por muitas razões, sou induzido a suspeitar que todos eles possam depender de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por algumas causas até aqui desconhecidas, ou são impelidas mutuamente umas em direção às outras e se ligam em formas regulares, ou são repelidas e se afastam umas das outras. Sendo estas forças desconhecidas, os filósofos têm até agora tentado em vão a investigação da Natureza; mas espero que os princípios aqui expostos tragam alguma luz a este ou a algum outro método mais verdadeiro de filosofar." (Vol. I, Liv. I, prefácio).
>
> (...)

DEFINIÇÃO I

A quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir da sua densidade e espaço que ocupa.[6]

Assim, o ar de dupla densidade, num espaço duplo, é quádruplo em quantidade. O mesmo deve ser a respeito da neve e da poeira fina e dos pós, que são condensados por por compressão ou liquefação, e de todos os corpos que por quaisquer causas são diferentemente condensados. Não me refiro aqui a um meio, se é que tal existe, que permeia livremente os interstícios entre as partes dos corpos. É esta quantidade que doravante sempre designarei por corpo ou massa. E a mesma é conhecida por meio do peso de cada corpo, por ser proporcional ao peso, tal como encontri por experiências com pêndulos, realizadas de modo muito rigorosamente, que serão mostradas adiante". (Vol. I, Liv. I, p. 1).

(...)

[5] É a tradução do latim para Inglês da obra original, feita por Andrew Motte, em 1729, com um Apêndice histórico e explicativo de Florian Cajori

[6] No original . Não havendo uma palavra portuguesa perfeitamente adaptada ao significado de , decidi traduzir esta palavra por espaço que ocupa, pois é esse o sentido que se deduz do que Newton escreveu a seguir e porque para Newton o espaço era um conceito básico.

DEFINIÇÃO III

A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, por meio do qual cada corpo, estando num estado, continua nesse estado, seja este de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

Essa força é sempre proporcional ao corpo ao qual essa força pertence e em nada difere da atividade da massa, a não ser na maneira de a conceber. (...) essa *vis insita* pode, de um modo mais significativo, ser chamada inertia (*vis inertiae*) ou força de inatividade. Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimida sobre ele, procura mudar a sua condição; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto resistência como impulso; é resistência na medida em que o corpo, para manter o estado atual, se opõe à força imprimida; é impulso, na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força imprimida por outro, esforça-se por mudar o estado desse outro. Resistência é normalmente atribuída a corpos em repouso e impulso aos que estão em movimento (Vol. I, Liv. I, p. 2)

(...)

"I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com algo externo e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração percetível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada em vez do tempo verdadeiro; tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.

II – O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com algo externo, permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual os nossos sentidos determinam pela sua posição referente aos corpos; e é comumente tomado por espaço imóvel; tal é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição em relação à terra. (...) se, por exemplo, a Terra se move, um espaço do nosso ar, o qual relativamente à terra permanece sempre o mesmo, será num um dado tempo uma parte do espaço absoluto pelo qual passa o ar, num outro tempo outra parte do mesmo, e, assim, entendido de maneira absoluta, será continuamente mudado." (Vol. I, Liv. I, Escólio, p. 6).

(...)

AXIOMAS OU LEIS DO MOVIMENTO

LEI I

Todo o corpo permanece no seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a mudar esse estado por forças imprimidas nele.

Os projéteis prosseguem nos seus movimentos, enquanto não forem retardados pela resistência do ar, ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um pião, cujas partes pela sua coesão são continuamente afastadas de movimentos retilíneos, não cessa a sua rotação a não ser que seja retardado pelo ar.

LEI II

A mudança de movimento é proporcional à forma motora imprimida e é produzida na direção da linha reta na qual a força é impressa.

Se uma força qualquer gera um movimento, uma força dupla gera um movimento duplo, uma força tripla um movimento triplo, seja essa força imprimida integralmente e instantaneamente, ou gradual e sucessivamente (...).

LEI III

A toda a ação é sempre oposta uma reação igual: ou,as ações mútuas de dois corpos um no outrosão sempre iguais e dirigidas para partes opostas.

Seja o que for que empurre algo é da mesma forma puxado ou empurrado por ele. Se pressionar uma pedra com o seu dedo, o dedo é também pressionado pela pedra. Se um cavalo puxa uma pedra amarrada a uma corda, o cavalo (se posso dizer assim) será igualmente puxado para trás em direção à pedra; pois a corda distendida, pela mesma tendência a relaxar ou distorcer-se, puxará tanto o cavalo na direção da pedra quanto a pedra na direção do cavalo, e opor-se-á ao progresso de um tanto quanto promove o do outro. Se um corpo choca com outro, e pela sua força muda o movimento do outro, esse corpo também (por causa da igualdade da pressão mútua) sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária. (Vol. I, Liv. I, p. 13 e 14).

(...)

REGRAS DE FILOSOFAR (*Regulae Philosophandi)*

REGRA I

"*Não devem admitir-se mais causas das coisas naturais do que as que são ao mesmo tempo verdadeiras e suficientes para as explicar.*

Por este motivo, os filósofos dizem que a Natureza não faz nada em vão, e vão é fazer com muitas coisas o que se pode fazer com menos. Pois a Natureza é simples e não faz alarde de causas supérfluas.

REGRA II

Por isso e sempre que possível, devemos atribuir aos mesmos efeitos naturais do mesmo tipo as mesmas causas.(...)

Tal como a respiração no homem e no animal; a queda das pedras na Europa e na América; a luz do nosso fogo na cozinha e a luz do Sol; a reflexão da luz na Terra e nas plantas.

REGRA III

As qualidades dos corpos que não admitem intensificação nem atenuação de grau e que se mostrou pertencerem a todos os corpos ao alcance das nossas experiências devem ser consideradas como qualidades de todos os corpos quaisquer que eles sejam.

REGRA IV

Na Filosofia experimental, as proposições inferidas por indução geral a partir dos fenómenos resistindo a quaisquer hipóteses contrárias que possam ser imaginadas devem ser tidas por exatamente ou muito aproximadamente verdadeiras, até surgirem outros fenómenos graças aos quais essas proposições se tornem mais exactas ou sujeitas a excepções.

É isto que deve fazer-se, e não a destruição de um argumento indutivo com base numa hipótese." (Vol. II, Liv. IIII, p. 398 e 400)

Questionário

A propósito deste texto, responda de modo fundamentado às seguintes questões:

1. O significado da frase "*hipotheses non fingo*" começou logo por ser mal traduzida do Latim para Inglês por Andrew Motte, em 1729 e tem sido mal interpretada. Vários newtonianos profundamente conhecedores da sua obra nunca aceitaram a tradução de Motte "*I frame no hypotheses*" e crêem que Newton jamais usou o verbo «*frame*» no contexto das hipóteses. Mas é um facto que formulou determinados princípios de carácter hipotético, aceites enquanto a experiência não mostrar que são falsos. Formulou três tipos de hipóteses neste sentido: ontológicas, físicas e metodológicas.

Refira exemplos destes três tipos de hipóteses.

2. Sabemos que Newton usou a designação *hipóteses*, no sentido cartesiano, mas segundo o grande historiador da ciência Alexandre Koyré, ao opor-se cada vez mais ao cartesianismo, acabou por atribuir um significado pejorativo ao termo hipótese vendo-a, não como axioma ou conjetura, mas sim como ficção.

Proponha uma tradução que considere adequada para a afirmação newtoniana "*hipotheses non fingo*".

3. Não obstante Newton, na correspondência com o filólogo Richard Bentley, ter revelado acreditar em causas finais e transcendentais para a existência da estranha *acção a distância*, é explícito no texto que leu o desejo de Newton de estudar os fenómenos mecânicos e basear a compreensão do mundo no conhecimento das causas mecânicas.

3.1. É explícito em que ponto do texto? Acha que as visões do mundo, as conjeturas dos cientistas são importantes ou apenas os factos?

3.2. Há alguma associação entre a referida visão newtoniana e uma das regras de filosofar que escreveu?

4. Analise novamente a primeira definição que Newton apresentou nos Principia:

4.1. Haverá ou não um ciclo vicioso inerente a esta definição?

4.2. Mostre a existência de algumas dificuldades conceptuais por parte de Newton nesta definição e comentários que se seguem a ela.

5. Concorda que há mesmo uma força inata da matéria no sentido em que Newton refere na definição III?

6. Quando e como se desmoronaram as ideias newtonianas da existência de um espaço absoluto, de um tempo absoluto e de referenciais absolutos?
7. Para exemplificar a lei da inércia, Newton recorre ao movimento de uma seta e ao do pião.
7.1. A grandeza que quantifica a inércia em ambos os casos é a mesma?
7.2. E é a mesma a grandeza de que depende o estado cinético nos dois casos?
7.3. Entende ser adequado o recurso ao exemplo do pião nesta fase do estudo da Mecânica e sem ter estudado ainda o movimento de rotação?
8. Reveja o exemplo do cavalo que puxa a corda que por sua vez puxa uma pedra utilizado por Newton para ilustrar a terceira lei. Newton afirma a dada altura: "a corda distendida, pela mesma tendência a relaxar ou distorcer-se, puxará tanto o cavalo na direção da pedra quanto a pedra na direção do cavalo, e opor-se-á ao progresso de um tanto quanto promove o do outro". Mas esta afirmação é geral? A força com que a corda puxa o cavalo para trás é sempre igual à força com que puxa a pedra para a frente?
9. A respeito da regra de filosofar I:
9.1. Esta regra foi estabelecida por Newton ou é historicamente anterior a ele?
9.2. A Natureza é mesmo simples ou os filósofos naturais e posteriormente os cientistas modernos tiveram de a considerar simples para penetrarem nos seus segredos?
10. As duas últimas regras são distintas traduzindo uma delas a aceitação da indução e a outra a aceitação da transdução. Em que diferem?

ANEXO E

Os atracionistas e os impulsionistas

Leia os seguintes excertos de uma carta de Leonhard Euler a uma Princesa Alemã[7].

> "É pois um facto provado pelos mais sólidos argumentos que em todos os corpos celestes reina uma gravitação geral pela qual são impulsionados e atraídos uns para os outros e que esta força é tanto maior quanto mais próximos estão entre si. Não é possível por em dúvida este facto, mas discute-se se há-de chamar-se *impulso* ou *atração*, se bem que o simples nome não modifica em nada a coisa em si mesma.(...)
>
> Assim, o astrónomo, atento unicamente ao efeito desta força, não se preocupa se os corpos celestes são empurrados uns para os outros ou se se atraem mutuamente. (...)
>
> Mas se queremos penetrar nos mistérios da natureza, é muito importante saber se é por impulso ou por atração que os corpos celestes atuam uns sobre os outros, se é uma matéria subtil e invisível que atua sobre eles e os impulsiona uns para os outros ou se estão

[7] É uma das 234 cartas escritas por este grande matemático e físico à sobrinha do Rei da Prússia.

dotados de uma qualidade escondida e oculta que o faz atrairem-se mutuamente. Os filósofos estão muito divididos a este respeito. Aqueles que estão a favor do impulso denominam-se impulsionistas e os partidários da atração chmama-se atracionononistas. O falecido Senhor Newton inclinava-se pela atração e hoje todos os ingleses são zelosos atracionistas. Reconhecem que não há nem cordas nem nenhuma das máquinas de que nos servimos vulgarmente para puxar, que possa ser utilizada pela Terra para atrir para si os corpos e causar a sua «pesacidade». (...) Se víssemos que um carro seguia os cavalos sem que estes estivessem enganchados naquele e se não houvesse nenhuma corda nem nenhuma outra coisa capaz de manter alguma comunicação entre eles, não diríamos que o primeiro é puxado pelos segundos, mas antes estaríamos inclinados a crer que o carro é impulsionado por alguma força, ainda que não víssemos nada, ou a menos que se tratasse do jogo de alguma feiticeira. No entanto os senhores ingleses não renunciam à sua opinião. Inclusive sustêm que o atrairem-se mutuamente é uma qualidade própria de todos os corpos, que esta qualidade lhes é tão natural como a extensão e que é suficiente que o Criador tenha querido que todos os corpos se atraem mutuamente, ficando assim resolvida a questão".(...) (In Leonhard Euler, Reflexiones sobre ele espacio, la fuerza y la materia, Alianza Editorial, 1985, p. 80-82).

Questionário

Depois de lido este texto, discutam agora em grupo as seguintes questões procurando informações que ajudem a fundamentar o vosso pensamento:

1. Os filósofos naturais e em particular os físicos envolveram-se em polémicas. Estas impediram o progresso do conhecimento ou, pelo contrário, estimularam-no?

2. As crenças e convicções metafísicas, muitas vezes chamadas visões do mundo, foram ou não importantes no desenvolvimento do conhecimento?

3. Euler, num troço do texto, «mergulha» um pouco numa visão pragmática da ciência:

3.1. Identifiquem em que troço do texto se aflora o pragmatismo e informem-se sobre algumas das ideias de William James, considerado o primeiro filósofo da ciência a defender essa ideia.

3.2. Fundamentem o facto de muitos filósofos (por exemplo Johannes Hessen, que foi professor da Universidade de Colónia no século passado) considerarem o pragmatismo uma forma de ceticismo que, como este, abdica da verdade no sentido de concordância entre o pensamento e o ser.

4. Tal como os filósofos conservadors ingleses, a que Euler se refere, muitos grandes pensadores recorreram a um Deus como último garante da verdade do conhecimento acerca do mundo. É o caso dos racionalistas teológicos como Plotino e Santo Agostinho, mas ideias filósoficas ontologistas modernas como as de Malebranche e Gioberti ou inatistas como as de Descartes e Leibnitz também acabaram por andar muito próximas de um racionalismo teológico. Consultem fontes sobre algum destes pensadores e fundamentem o que acima se afirma.

5. Tal como Euler refere, os impulsionistas defendiam a existência de "uma matéria subtil e invisível" que atua sobre os corpos e os impulsiona uns para os

outros. Essa matéria invisível chamou-se éter. Recorram a fontes de consulta acerca do éter e façam uma pequena dissertação sobre ele, tendo em conta no mínimo os seguintes aspectos: o éter e o espaço absoluto; a relação entre o éter e a luz; até quando se defendeu a existência do éter.

ANEXO F

Sobre o método da Física Teórica

Leia com atenção o texto seguinte, extraído de uma conferência dada por Einstein com o título "*On the Method of Theoretical Physics*":

> "Se querem aprender alguma coisa com os físicos teóricos quanto aos métodos por eles empregues, proponho-lhes que observem o seguinte princípio: Não escutem as suas palavras, examinem o que fazem. Para os descobridores nesse campo, as construções da sua imaginação parecem tão necessárias e naturais que está preparado para lidar com elas não como produtos do pensamento, mas como realidades concretas. (...)
>
> Desejo agora lançar um breve olhar sobre· a evolução do método teórico e, enquanto tal, observamos a relação do conteúdo teórico com a totalidade dos factos da experiência. Trata-se da eterna antítese das duas inseparáveis componentes do nosso saber, Experiência e Razão, dentro da esfera da Física. Honramos a antiga Grécia como berço da ciência ocidental. Ela criou, pela primeira vez, o milagre intelectual de um sistema lógico cujos enunciados se deduzem uns dos outros com tal rigor que nenhuma das proposições demonstradas admite qualquer dúvida - a Geometria de Euclides. Esta obra admirável da razão deu ao espírito humano a confiança em si mesmo para outras realizações posteriores. (...)
>
> Mas, ainda não era a altura para se obter a maturidade em relação a uma ciência que se desenvolve centrada na realidade, era preciso um segundo conhecimento fundamental que só passou a pertencer ao domínio público dos filósofos depois de Kepler e Galileu. O mero pensamento lógico não nos proporciona qualquer conhecimento acerca do mundo da experiência; todo o conhecimento da realidade parte da experiência e termina nela.
>
> As conclusões obtidas por processos puramenre racionais, no que à Realidade diz respeito, são absolutamente desprovidas de sentido. É por ter obtido esse conhecimento e em especial por tê-lo incutido no mundo científico; que Galileu se tornou o pai da física moderna e, a bem dizer, da moderna ciência da natureza em geral.
>
> Se porém é certo que a experiência é o princípio e o fim de todo o nosso conhecimento acerca da realidade, qual é então o papel da razão na ciência? Um sistema completo da física teórica é formado por conceitos, por leis básicas que relacionam esses conceitos e pelas consequências que se obtêm por dedução lógica. São estas consequências a que devem corresponder as nossas experiências

particulares e é a derivação lógica das mesmas que, numa obra teórica, ocupam de longe a sua maior parte. (...).
Atribuímos pois à razão e à experiência o seu lugar no sistema da física teórica. A razão dá a estrutura do sistema; os dados experimentais e as suas relações mútuas devem corresponder exatamente às consequências da teoria. É apenas na possibilidade de tal correspondência que repousa o valor e a justificação de todo o sistema e em especial dos seus conceitos e leis básicas. Aliás, tais conceitos e leis são livres invenções da mente humana, que não admitem justificação *a priori* nem pela natureza do espírito humano nem por qualquer outro meio.

Os conceitos e leis fundamentais que já não são redutíveis logicamente, formam a parte inevitável e racionalmente inacessível da teoria. Dificilmente se pode negar que o objectivo primordial de toda a teoria é o de tornar esses elementos fundamentais irredutíveis tão simples e tão pouco numerosos quanto possível, sem renunciar à representação adequada dos simples dados experimentais.

A concepção aqui esboçada, do carácter puramente fictício dos princípios básicos da teoria não era ainda de modo algum dominante nos séculos XVIII e XIX. (...).

Newton, o primeiro criador dum sistema de física teórica compreensivo e trabalhável, ainda acreditava que os conceitos e as leis fundamentais do seu sistema derivavam da experiência. A sua expressão "hypotheses non fingo" deve ser interpretada pois nesse sentido. (...)

Pelo contrário, os físicos daqueles tempos estavam na sua maioria convencidos de que os conceitos e as leis fundamentais da física não são, no sentido lógico, invenções livres da mente humana, mas, sim, que podem deduzir-se da experiência por «abstracção», ou seja, por via lógica. Foi a teoria da relatividade geral que mostrou claramente a inexactidão dessa concepção. De facto, esta teoria revelou que nos é possível, usando princípios básicos bastante divergentes dos de Newton, explicar todo o domínio dos factos experimentais de uma maneira ainda mais satisfatória e completa do que permitiam os princípios de Newton. Mas, abstraindo da questão dos méritos comparativos, o carácter fictício dos princípios torna-se completamente evidente pelo facto de se poderem apresentar duas bases essencialmente diferentes, e cujas consequências concordam em larg medida com a experiência. Isto indic que qualquer tentativa lógica de derivar da experiência os conceitos e as leis fundamentais da mecânica está condenada ao fracasso. (...)

A nossa experiência atual leva-nos ao sentimento seguro de que a natureza é a realização do ideal da smplicidade matemática. É minha convicção que a construção matemática pura nos permite descobrir os conceitos e os princípios que os relacionam que nos dão a chave para a compreensão dos fenómenos da natureza. A experiência, claro está, pode guiar-nos na escolha dos conceitos matemáticos adequados; não pode possivelmente ser a fonte de onde são derivados. A experiênia continua, sem dúvida, a ser o único criério de adequabilidade das construções matemáticas à Física, mas o princípio verdadeiramente criativo reside na matemática. Num certo sentido, portanto, como verdadeiro, que o pensamento puro pode apreender a realidade, conforme sonhavam os antigos.(...).

A moderna teoria dos *quanta,* associada aos nomes de de Broglie, Schrödinger e Dirac, opera com funções contínuas e venceu essa dificuldade por meio duma interpretação ousada, que foi dada pela primeira vez em forma clara por Max Born: as funções de espaço que surgem nas equações-não pretendem ser um modelo matemático dos objectos atómicos. Supõe-se que estas funções apena determinam matematicamente as probabilidades de encontrar tais objectos num certo lugar ou num certo estado de movimento, se efectuamos uma medição. Esta concepção é lógicamente inatacável e tem conduzido a importantes sucessos. Mas infelizmente obriga-nos a utilizar um contínuo cujo número de dimensões não é o da física anterior, designadamente quatro, antes aumenta ilimitadamente com o número de partículas que constituem o sistema considerado. Não posso deixar de confessar que a esta interpretação não atribuo mais do que um signifiéado passageiro. Creio ainda na possibilidade de dar um modelo da realidade, quero dizer, uma teoria, que represente os próprios acontecimentos e não apenas a probabilidade da sua ocorrência. Parece-me, por outro lado, certo que teremos, em qualquer modelo teórico, que abandonar a ideia duma localização absoluta das partículas. Julgo ser isto a interpretação teórica correcta da relação de indeterminação de Heisenberg. E no entanto pode perfeitamente bem existir uma teoria, que é atomística no sentido genuíno (e não simplesmente na base de uma interpretação particular), na qual não haja localização das partículas num modelo matemático. (...).

Só quando tal representação da estrutura atómica for obtida, eu poderei considerar resolvido o problema quântico dentro de um referencial do *continuum*." (in Timothy McGrew, Marc Alspector_Kelly and Frit Allhoff, Eds, 2009, p. 300-303).

Questionário

Depois de lido este texto, respondam às questões que se seguem procurando informações que ajudem a fundamentar o vosso pensamento:

1. É sabido que existiram no mundo ocidental, antes dos gregos, antigos civilizações que se distinguiram pela produção de cohecimentos, com especial destaque para a egípcia e mesopotâmica. Com que base Einstein destaca a antiga Grécia como berço da ciência ocidental?
2. A determinada altura Einstein afirma: "O mero pensamento lógico não nos proporciona qualquer conhecimento acerca do mundo da experiência; todo o conhecimento da realidade parte da experiência e termina nela". Mais adiante afirma: "É minha convicção que a construção matemática pura nos permite descobrir os conceitos e os princípios que os relacionam que nos dão a chave para a compreensão dos fenómenos da natureza". Revelando-se a primeira afirmação indiciadora de que Einstein tinha uma visão marcadamente empirista e a segunda que ele tinha uma posição vincadadamente racionalista, como Einstein conciliou estas duas posições antitéticas acerca da origem do conhecimento científico?

3. Este texto deixa revelar a posição epistemológica de Einstein relativamente ao problema da validade do conhecimento, onde as grandes antíteses são como é sabido o ceticismo e o dogmatismo. Fundamente essa posição.
4. Por que razão Einstein considerava Galileu uma figura fundamental na evolução do conhecimento da Natureza?
5. Por que motivo Einstein nunca aceitou a interpretação da escola de Copenhaga acerca do mundo quântico?
6 Sintetize a essência do método que Einstein defendeu nesta sua conferência.
7. Haverá um método de produzir Física, vários métodos ou uma superação de métodos?
8. Pesquise em que consiste o princípio da complementaridade de Bohr e explique porque Einstein nunca o aceitou.

ENFRENTANDO OBSTÁCULOS NA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA A SALA DE AULA

CAPÍTULO 5

Thaís Cyrino de Mello Forato
Roberto de Andrade Martins
Maurício Pietrocola

Tem-se escrito e dito muito sobre os diversos benefícios formativos decorrentes dos usos da História da Ciência na formação dos estudantes. Mais do que favorecer o aprendizado de conteúdos científicos e ampliar a cultura geral do estudante, dentre outros propósitos pedagógicos, o estudo de episódios da História da Ciência tem sido recomendado como um recurso adequado e eficaz para a compreensão da Natureza da Ciência (NDC).[1]

Argumentos poderosos são exibidos pela literatura especializada, considerando o aprendizado da epistemologia da ciência como fundamental ao letramento científico, ao desenvolvimento da capacidade crítica dos estudantes e à compreensão dos processos sócio-históricos da construção do conhecimento científico, entretanto, pesquisas têm apontado desafios e dificuldades – em diferentes esferas –, para se efetivar propostas concretas na sala de aula, tanto na formação de professores das ciências quanto na escola básica.[2] Dentre tais dificuldades estão os problemas e riscos trazidos pelas abordagens anacrônicas sobre os processos de construção das ciências, tais como a pseudo-história, ainda presentes no ambiente escolar e social dos estudantes.[3]

Tais dificuldades não são elementares, ao contrário, uma vez que estamos diante de uma competência posta pelo nosso próprio contexto sócio-histórico: transitar em, e amalgamar, diferentes campos do saber. A necessidade de formar cidadãos para compreender e interagir com as profundas transformações socioculturais que vivenciamos requer habilidades esquecidas na era das crescentes especializações, que se intensifica desde o século XIX. Lembrando, evidentemente, que cada época confere características próprias à produção e divulgação do conhecimento, transpor as grades das *gaiolas* epistemológicas, após mais de um século de

[1] AAAS (1990; 1993); Abd El Khalick; Lederman (2000); Arduriz-Bravo; Izquierdo-Aymerich (2009); Brasil (2002); El-Hani (2006); Holton (2003); Lederman (2007); Martins (2006); Matthews (1992); McComas *et al.* (1998); Medeiros; Bezzera-Filho (2000); Peduzzi (2001); Pietrocola (2003); Pumfrey, (1991); Rudge; Howe (2009); Santos (1999); Silva (2006).
[2] Clough; Olson (2008); Forato (2009); Höttecke; Silva (2010); Martins (2007); Martins (1990).
[3] Allchin (2004); Brush (1979); Forato (2008); Gil-Perez *et al.* (2001); Martins (2006); Pagliarini (2007); Whitaker (1979).

contínuas especializações, é um desafio a qualquer pensador no início do século XXI.[4] De acordo com Santos,

> Nesta encruzilhada de mudança, virada para o diálogo entre saberes, para o conhecimento instrumental, para a discussão argumentada e para a vivência e enraizamento dos valores, o 'valor da educação' ganha uma importância acrescida. [...] Conjugar a complexidade e a circularidade intrincadas de perspectivas de tipo internalista com perspectivas de tipo externalista – sabedorias e contextos tecnológicos, sociais, culturais e civilizacionais, que imprimem marcas à história da ciência e ao seu ensino. Na realidade, pensar a educação, nos dias de hoje, exige uma compreensão rigorosa de todo o circunstancialismo que, não sendo determinante, a condiciona e motiva. (SANTOS, 1999, p. 2).

Em meio a tais demandas, conhecimentos imbricados envolvendo a História, a Filosofia e a Sociologia da Ciência (HFC ou HFSC) surgem na literatura especializada como recursos interessantes para favorecer a transdiciplinaridade envolvendo conhecimentos científicos, metacientíficos e artísticos, conjugando, harmoniosamente, a dimensão conceitual da aprendizagem disciplinar com a dimensão formativa e cultural.

Quando se pretende implementar tais saberes nas aulas de ciências, algumas questões imediatamente se colocam: como o professor das ciências formado em uma disciplina científica, que já enfrenta desafios na implementação de metodologias atuais visando ao ensino-aprendizagem de conceitos científicos, conseguirá lidar com conhecimentos de outros campos do saber? Que dificuldades enfrentará o elaborador de materiais didáticos e educacionais para inserir conteúdos de HFC, em metodologia adequada, sem negligenciar os conteúdos científicos? O que seria uma metodologia pedagógica *adequada* para conhecimentos especializados que já são transdiciplinares em sua própria produção?[5]

Muitas questões ainda poderiam ser levantadas. Dedicamos este capítulo para discutir um dos aspectos dessa complexa problemática, qual seja, apresentar o enfrentamento de dificuldades e obstáculos para a inserção de conteúdos selecionados de HFC na escola básica.[6] Tais obstáculos foram identificados durante a elaboração de um minicurso, incluindo o desenvolvimento de textos para os estudantes e para o professor, uma sequência de atividades didáticas, inscritos em uma proposta metodológica. Apresentamos neste capítulo, os resultados de uma análise sobre o enfrentamento de obstáculos para a transposição didática de episódios da história da óptica para Ensino Médio.[7]

[4] D'Ambrósio (2011); Santos (1999).
[5] A História da Ciência como disciplina especializada desenvolve-se ao longo do século XX e localiza-se na interface de saberes científicos, históricos, antropológicos, sociais, filosóficos etc. Sobre historiografia veja em Alfonso-Goldfarb (1994); Canguilhem (1977); Clagett (1969); Debus (1991); Forato (2008); Jardine (2003); Kuhn (1977); Martins (2005), por exemplo.
[6] Uma versão preliminar e menor desta análise dos obstáculos empíricos foi apresentada no XII EPEF em Águas de Lindóia (FORATO *et al.*, 2010a).
[7] Esta etapa pertence a uma pesquisa mais ampla, realizada para um doutoramento (FORATO, 2009).

A Natureza da Ciência no ambiente escolar

O uso da HFC na educação tem sido recomendado por documentos oficiais e diversos autores visando a promover a aprendizagem, em geral, dos seguintes aspectos da NDC:[8]

- entender a ciência como uma atividade humana socialmente construída - em um contexto cultural de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas – pode favorecer uma compreensão mais ampla de seu papel na sociedade contemporânea;
- problematizar uma visão exclusivamente empírico-indutivista da construção da ciência;
- possibilitar certo conhecimento metodológico, permitindo refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica;
- compreender os termos que envolvem o debate científico e a ciência como parte de sua cultura envolvendo julgamentos de valor;
- conhecer não apenas os conteúdos científicos, mas também seus pressupostos e limites de validade postos pelo seu contexto histórico;
- problematizar os mitos sobre a construção do conhecimento científico revelando crenças, valores, disputas e controvérsias que permeiam a construção da ciência;
- compreender a ciência como construção humana e sua relação com outros campos do conhecimento, incluindo as diversas manifestações artísticas.

Quando se pretende essa compreensão contextualizada do conhecimento científico no tempo, no espaço e em sua relação com outros saberes, é necessário relembrar que a concepção que se tem sobre a ciência estará sempre refletida, explícita ou implicitamente, em todas as iniciativas educacionais que digam respeito a ela, desde a seleção e abordagem de conteúdos, até as metodologias educacionais utilizadas nos processos de ensino e aprendizagem. Não basta inserir conteúdos de HFC na sala de aula, sem admitir que qualquer prática educativa reflete as concepções que os professores têm sobre o trabalho científico, transmitindo, implícita ou explicitamente, uma visão sobre a NDC.[9]

Gil Perez e colaboradores (2001) analisaram as visões sobre a NDC em um grande grupo de professores e encontraram concepções dissonantes com essas recomendadas pela literatura educacional mencionadas. Eles relatam concepções empírico-indutivistas e ateóricas, a-históricas, dogmáticas, elitistas, exclusivamente analíticas, acumulativas e lineares dos processos de construção do conhecimento científico, em geral pro-

[8] Objetivos apontados, por exemplo, por AAAS (1990; 1993); Brasil (2002); Arduriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009); Gil-Perez et al. (2001); Martins (2007); Martins (2006); Matthews (1992); McComas et al. (1998); Medeiros e Bezerra-Filho (2000); Lederman (2007); Pietrocola (2003); Reis et al. (2006); Vannucchi (1996); etc.

[9] Brasil (2002); Gil Perez *et al.* (2001).

tagonizadas por *insights* individuais de grandes pensadores. Os autores discutem como o Ensino de Ciências vem reforçando e propagando tais concepções indesejadas sobre a construção da ciência.

Um dos problemas que contribuem para a perpetuação dessas concepções epistemológicas indesejáveis é a presença da pseudo-história no Ensino de Ciências. Além de serem inconsistentes com a visão de ciência que tem sido recomendada para a educação científica, tais versões históricas constituem-se um desestímulo ao pensamento crítico.[10] Ademais, é importante relembrar que o trabalho de quem constrói os relatos sobre a História da Ciência é sempre permeado por valores pessoais.[11] Daí decorre que qualquer narrativa histórica reverbera uma concepção sobre o funcionamento e construção da ciência, seja ela escrita por um especialista, ou não.

Um olhar atento pode identificar discrepâncias entre uma concepção de ciência como uma construção humana, social, influenciada por fatores culturais, e um relato histórico que traz, implicitamente, uma ciência puramente empírica e neutra, produtora de verdades absolutas que desconsidera debates, controvérsias e rupturas em sua história. Desse modo, *é importante confrontar os objetivos formativos e epistemológicos que se buscam, com as visões transmitidas pelas narrativas históricas utilizadas*.

Os usos da HFC na educação, ou a pesquisa sobre eles, requerem, assim, que se estabeleça a visão de ciência e dos processos de sua construção que os fundamentam. Explicitamos a seguir os aspectos da NDC que guiam essa análise e buscam estar de acordo com as recomendações atuais para o Ensino de Ciências:[12]

- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambiguidades;
- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;
- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

A elaboração de narrativas históricas e os aspectos epistemológicos que elas transmitem podem ser avaliados e orientados pela historiografia atual da História da Ciência.[13]

[10] Allchin (2004); Holton 2003); Martins (2006); Pagliarini (2007).
[11] Allchin (2004); Debus (1991); Canguilhen (1977); Forato (2008); Gravoglu *et al*. (2008); Martins (2005); Martins (2004).
[12] Aspectos retirados principalmente de Pumfrey (1991); McComas et al. (1998); Gil Perez et al, (2001); Allchin (2004).
[13] Por exemplo, Kragh, 1987; Martins (2005); Forato (2008); Gravoglu *et al.* (2008); Kuhn (1977).

Além de fornecer subsídios para a metodologia de trabalho do historiador, os pressupostos historiográficos esclarecem de que modo as concepções de ciência guiam a seleção das fontes históricas, sua interpretação e sua contextualização,[14] entretanto, não são apenas tais requisitos que devem ser considerados na implementação da HFC no Ensino de Ciências. O olhar para o ambiente escolar, para os processos de ensino e aprendizagem, e para as metodologias educacionais são também fundamentais para a construção dos saberes escolares.

Transformar conteúdos da HFC em conteúdos adequados à escola básica requer admitir uma mudança de nicho epistemológico, reconhecer as diferentes funções sociais. Nesse sentido, a contribuição da didática das ciências – particularmente, o enfoque trazido por certos aspectos da transposição didática (CHEVALLARD, 1991), pode auxiliar para se pensar a construção dos conhecimentos de HFC para a escola básica.

Nessa perspectiva de adaptação, a transposição didática passa a ser vista sob a óptica de outro campo do saber, o das narrativas históricas, e não mais dos conceitos da matemática, seu berço de origem. O saber sábio passa a ser aquele construído pelo historiador das ciências, mas não apenas. Para tornar o processo mais complexo, têm-se os documentos originais, produzidos pelos cientistas, filósofos naturais e demais pensadores de diferentes épocas, os sujeitos que constroem as ciências.

Tais obras devem ser interpretadas à luz de seu tempo, segundo historiografia contemporânea,[15] buscando transpor a dicotomia entre internalismo e externalismo, mediante um olhar contextualizado para os conteúdos científicos. Desse modo, é importante entender tais conceitos a partir de sua formulação discursiva original (fontes primárias), confrontando-as com narrativas especializadas (fontes secundárias), e considerando perspectivas sociais e culturais na construção da ciência.

É necessário, portanto, transitar em diferentes campos do saber. Mais do que isso, é necessário construir conhecimentos que inscrevem em si próprios aspectos de diversas especialidades.

Tendo em vista todos os pressupostos ora discutidos e à luz das concepções epistemológicas objetivadas, uma análise teórica apontou oito obstáculos previstos na confluência dessas distintas áreas do conhecimento e levantou alguns dilemas inevitáveis e riscos a assumir.[16] Tais obstáculos foram aprofundados e ampliados pelo estudo empírico aqui relatado, durante a elaboração de um minicurso para a escola básica, cuja metodologia e resultados são descritos nas seções a seguir.

[14] Veja em Forato *et al*. (2011) uma análise de problemas historiográficos mais comuns que fomentam a disparidade entre as concepções de NDC recomendadas pelas pesquisas em Ensino de Ciência e as presentes no ambiente escolar.

[15] Kragh (1987).

[16] A análise dos obstáculos previstos teoricamente, incluindo dilemas, escolhas e os riscos a assumir pode ser encontrada em Forato e colaboradores (2011) e/ou Forato (2009, v. 1, cap. 1 e 2).

Metodologia estruturadora da pesquisa

A proposta desenvolvida para a utilização da HFC no ensino assume a coerência e consistência entre marcos teóricos e metodológicos, e busca ressonância entre os objetivos e as hipóteses que alicerçam os problemas da pesquisa.[17] Adotamos a metodologia qualitativa para seu planejamento geral, estruturando a coleta e a análise de dados, que apresenta coerência com a concepção de construção da ciência adotada, e está retratada nos objetivos epistemológicos estabelecidos, bem como nos métodos de ensino e aprendizagem propostos. Ao se considerar a ciência uma atividade humana, desenvolvida em um dado contexto sociocultural, a construção do saber escolar e do conhecimento sobre a ciência também foram concebidos como um processo coletivo de construção do conhecimento. Tal concepção implica a *valorização do processo educacional, tanto quanto seu produto final*.[18] Desse modo, objetivando a construção de saberes da HFC para a escola básica, buscamos identificar desafios e dificuldades na transposição desses conteúdos para o Ensino Médio. Assim, focalizando processo e produto, adotou-se como estratégia metodológica o confronto entre prerrequisitos e recomendações de diferentes campos do saber, em dois níveis distintos:

1) análise teórica que confrontou as exigências didáticas, historiográficas e epistemológicas, em que se obteve oito obstáculos e quatro tensões ou dilemas a serem enfrentados.[19]

2) desenvolvimento de uma parte empírica que compreendeu a elaboração de um curso piloto para o Ensino Médio, envolvendo as seguintes etapas: selecionar o conteúdo da HC adequado a tratar os aspectos pretendidos sobre a NDC; desenvolver o material para os alunos; desenvolver o material de apoio ao professor; desenvolver as atividades da sequência aplicada em sala de aula. Tal etapa gerou como resultado os dezessete obstáculos apresentados neste trabalho.[20]

Uma terceira etapa da pesquisa mais ampla, não abordada aqui, consistiu em apresentar a proposta do minicurso ao professor de Física do Ensino Médio, dando suporte para a sua aplicação; visitar a escola para planejar a tomada de dados e cuidar dos aspectos éticos da pesquisa; acompanhar a aplicação e a gravação em vídeo do minicurso, tomando notas de campo; analisar os dados obtidos. A metodologia qualitativa das

[17] Carvalho (2006); Santos e Greca (2006).

[18] Mediante os pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa, não seria adequado, por exemplo, propor uma metodologia para a análise de dados que enfocasse apenas o produto final, e tampouco comparações entre pré e pós-testes.

[19] Veja síntese dessa análise em Forato *et al*. (2011); ou Forato (2009).

[20] Uma versão preliminar dessa etapa da pesquisa, da qual este artigo incorpora alguns aspectos, foi apresentada no XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF). Outrossim, faz-se pertinente esclarecer que o conteúdo deste artigo, bem como o trabalho apresentado no XII EPEF, é decorrente da pesquisa para a tese de doutorado de Forato (2009).

pesquisas educacionais fundamentou o planejamento da aplicação do curso piloto, a tomada e a análise de dados.[21]

Os dados da construção do curso piloto

A análise dos dados obtidos *durante a construção do curso* piloto forneceu um grupo de resultados da pesquisa (obstáculos), a ser relatado na seção seguinte. Experimentou-se a busca por soluções para os desafios enfrentados no processo de transposição didática da HFC para o ambiente escolar. Os dados oriundos dessa etapa da pesquisa descrevem as dificuldades encontradas na relação interpessoal do sujeito-pesquisador com os saberes de diferentes campos na construção do saber a ensinar. Buscou-se registrar da maneira mais fidedigna possível as dúvidas, as conjecturas feitas sobre os possíveis caminhos e dificuldades de se fazer escolhas. Desse modo, os dados dessa etapa são predominantemente descritivos e têm o pesquisador como seu agente de coleta.[22]

O contexto de aplicação do curso

O contexto educacional para o qual o curso foi desenvolvido foi relatado pela professora que o aplicaria em suas aulas de Física, no Ensino Médio, o que influenciou no estabelecimento dos objetivos epistemológicos, na seleção dos conteúdos, bem como no nível de profundidade adotado. Haveria 20 horas-aula disponíveis, em uma turma do terceiro ano de Ensino Médio de uma escola pública da periferia da cidade de São Paulo. A escola funcionava no sistema modular de disciplinas, agrupando-as em blocos de 2 horas-aula diárias consecutivas, durante duas semanas. Os alunos haviam estudado apenas alguns rudimentos de óptica geométrica, contando com as ilustrações dos fenômenos que a professora representava na lousa, único recurso didático disponível. Eles nunca haviam estudado tópicos de História da Física ou abordado explicitamente qualquer tipo de reflexão epistemológica, ao menos na disciplina de Física. Havia 38 alunos frequentando a turma e alguns deles trabalhavam no período da tarde após a aula.

[21] Carvalho (2006); Erickson (1998); Lüdke e André (1986).
[22] Erickson (1998).

O saber escolar elaborado

O saber escolar voltado para três episódios da história da óptica, consistiu de textos para os alunos, texto para o professor e uma sequência de atividades didáticas. Os conteúdos da História da Ciência enfocam três períodos distintos.[23]

Episódio I: Luz na Antiguidade Clássica: Leucipo, Empédocles, Aristóteles;

Episódio II: Natureza da luz para Newton e Huygens;

Episódio III: Natureza da luz e éter luminífero: corpuscularistas, Thomas Young e Fresnel.

Obstáculos na elaboração do minicurso

A construção das atividades didáticas e dos textos para o curso piloto possibilitou materializar os desafios previstos pelo quadro teórico de modo mais detalhado e fundamentá-los por meio de exemplos concretos. Tais desafios foram organizados em termos de dezessete obstáculos, envolvendo a negociação entre os domínios histórico-epistemológicos, as exigências do projeto educacional e as possibilidades do campo de aplicação didática (a sala de aula).

As escolhas foram feitas, pontualmente, em função dos objetivos visados no curso piloto, do contexto educacional e mediante a avaliação dos riscos de distorção envolvidos nas narrativas históricas. Tais obstáculos revelaram-se, nesse contexto específico, superáveis ou contornáveis (Quadro 1), em função das possibilidades e das escolhas feitas mediante seu enfrentamento na elaboração do Saber a Ensinar.[24] A ideia não é a de propor categorias rígidas, mas organizar as reflexões e soluções conjecturadas, de modo a se constituírem pontos de apoio para fundamentar novas questões de natureza teórica, ou auxiliar o desenvolvimento de cursos para outros contextos educacionais ou tratando de diferentes temas da história da ciência.

[23] O conteúdo e atividades do curso podem ser encontrados em Forato *et al*, (2010b); Forato (2009, v. 1, cap. 3; v. 2, Apêndices A, C, D).

[24] As propostas estão detalhadas no planejamento pedagógico do curso piloto, em: Forato (2009, v. 2, Apêndice C. 1); na descrição de sua construção, em: Forato (2009, v. 1, seção 3.2); e nos textos para os alunos, em: Forato (2009, v. 2, Apêndice C. 2); e para o professor, em: Forato (2009, v. 2, Apêndice A).

Quadro 1 – Obstáculos superáveis e contornáveis identificados na análise empírica

Obstáculos superáveis (OS)	Obstáculos contornáveis (OC)
OS1. Concepção de ciência a ser apresentada: seleção dos aspectos da NDC. *OS2. Seleção dos aspectos históricos a enfatizar em cada episódio.* *OS3. Nível de aprofundamento de alguns aspectos históricos.* *OS4. Nível de detalhamento do contexto não científico.* *OS5. Nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos.* *OS6. Se, quando, quanto e como utilizar trechos de fontes primárias.* *OS7. Formulação discursiva adequada ao nível de escolaridade visado.* *OS8. Tratar, diacronicamente, diferentes (a) concepções de ciência; e (b) pensadores de distintas épocas; e (c) conteúdos da História da Ciência de difícil compreensão na atualidade.* *OS9. Construção de atividades de ensino adequadas sob o ponto de vista pedagógico e epistemológico.*	*OC1. Concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência.* *OC2. Falta de preparação do professor.* *OC3.Inadequação de textos especializados de História da Ciência ao Ensino Médio.* *OC4. Falta de pré-requisitos dos alunos em relação ao conhecimento matemático, físico, histórico, epistemológico e filosófico.* *OC5. Possível concepção prévia dos estudantes e professores, sobrevalorizando a capacidade da ciência atual de resolver todos os problemas.* *OC6. Enfatizar aspectos científicos ou enfatizar fatores externos à ciência.* *OC7. Quantidade da informação na forma de textos.* *OC8. Extensão x profundidade.*

Fonte: elaborado pelos autores deste trabalho.

Obstáculos superáveis

Foram considerados obstáculos superáveis (OS) aqueles desafios que envolviam um conjunto de dificuldades para as quais se julgou possível propor uma solução no contexto do curso piloto, durante a elaboração dos textos e das atividades didáticas.

A proposta metodológica incorpora ações ou estratégias na própria construção dos saberes, que contribuem para a superação dos desafios enfrentados, no contexto do curso piloto e seus objetivos pedagógicos. Embora esses obstáculos apresentem íntima relação, eles foram organizados em nove itens diferentes, objetivando esclarecer detalhes das dificuldades enfrentadas.

OS1. Concepção de ciência a ser apresentada: seleção dos aspectos da Natureza da Ciência

É necessário esclarecer, quando se pretende o ensino e aprendizagem de NDC, qual concepção de ciência pretende-se adotar, e quais aspectos dessa concepção serão trabalhados. Isso requereu o estabelecimento do propósito pedagógico que pretendíamos com o curso (ensino e aprendizagem dos aspectos selecionados da NDC), avaliar o tempo didático disponível, além dos pré-requisitos que os alunos possuíam. Esse primeiro desafio

não é exatamente uma dificuldade, mas um primeiro passo necessário na elaboração de uma proposta de curso a ser implementado, e requer critérios e reflexões. Buscando chamar a atenção para a sua importância, foram incluídos nos obstáculos superáveis, pois acreditamos que é possível lidar com os fatores envolvidos e elaborar uma proposta adequada.

OS2. Seleção dos aspectos históricos a enfatizar em cada episódio

Uma dificuldade ficou evidente quando foi necessário estabelecer critérios para decidir quantas teorias seriam suficientes para se atingir o objetivo proposto, e quais dessas teorias poderiam trazer maiores contribuições para alcançá-lo. O primeiro critério foi considerar os propósitos do curso como um todo (aspectos NDC) e os propósitos de cada episódio histórico em questão. No primeiro episódio (natureza da Luz na Antiguidade), não se pretendia fazer uma abordagem matemática ou geométrica da luz, desse modo, a contribuição de Euclides foi a primeira a ser excluída. Em seguida, outro critério nos pareceu apropriado: abordar três teorias consideravelmente distintas, vinculadas às respectivas concepções de mundo de seus autores e, possivelmente, de fácil compreensão por parte dos alunos. A escola atomista, por exemplo, além de abordar conceitos não raros no ambiente escolar, inclusive nas aulas de Química, apresentou-se como uma opção interessante.

Entre os atomistas, Leucipo trazia uma abordagem que nos pareceu mais passível de adaptação. Sua explicação para a luz envolvia algo que emanava dos corpos e chegava aos olhos. A explicação de Empédocles era outra teoria que oferecia um ótimo contraponto à escola atomista, já que se baseava no fogo visual que saía dos olhos. Com as duas teorias, tínhamos duas explicações bem distintas, que acabaram apontando para a terceira possibilidade: a explicação de Aristóteles, que destacava a importância e o papel do meio material entre o observador e o objeto, para explicar a natureza da luz e a visão. Levando em conta o tempo disponível para o episódio e seus propósitos pedagógicos, achamos desnecessário incluir mais informações.

Refletindo sobre as escolhas e conteúdos selecionados e/ou excluídos dos outros episódios – por exemplo, a omissão da óptica de Alhazen dos instrumentos ópticos no século XVII e da matematização das teorias no XIX, percebemos alguns indicativos dos critérios que utilizamos na elaboração da proposta de superação desse obstáculo da seleção dos conteúdos: (1) os propósitos do curso como um todo e os propósitos de cada episódio; (2) um conteúdo que tenha algum vínculo com as necessidades dos próximos episódios, contudo sem reduzi-lo a fins meramente propedêuticos; (3) maior viabilidade de *simplificação* sem incorrer em pseudo-história; e (4) os pré-requisitos que os alunos necessitam possuir para compreender os conceitos envolvidos.

OS3. Nível de aprofundamento de alguns aspectos históricos

Depois de selecionados os conteúdos de cada episódio, foi necessário estabelecer o nível de aprofundamento a ser dado a cada um deles. No episódio II (Natureza da luz para Huygens e Newton), por exemplo, que enfocou o século XVII, avaliamos os riscos e os benefícios de se apresentar a teoria de Huygens como uma teoria de tipo ondulatória e não como uma teoria vibracional.[25] A versão, originalmente, proposta por Huygens em seu *Tratado da Luz,* de 1690, não possuía as ideias de periodicidade, de superposição e interferência de ondas, posteriormente, agregadas por Fresnel.

Tendo em vista o nível de escolaridade enfocado, os propósitos do curso e a finalidade dessa teoria no episódio, entendemos que tal simplificação não poderia ser considerada uma grande distorção histórica.

Desconsiderar as diferenças entre a concepção vibracional de Huygens e os elementos de periodicidade conferidos por Fresnel não seria adequado em um trabalho voltado à comunidade da História da Ciência, entretanto esse nível de detalhamento não se mostrou relevante para o enfoque escolhido, no contexto de elaboração e aplicação do curso piloto.

As mesmas conjecturas valeram para a abordagem da teoria de Newton sobre a natureza da luz. Enquanto um trabalho especializado em História da Ciência mereceria uma discussão das diferentes concepções de luz que aparecem na obra de Newton,[26] apresentada como corpúsculos em partes de sua obra e, em outras, como raios de luz, essa diferença não era significativa para o enfoque escolhido, pelo contrário, traria um nível de detalhamento inadequado ao Ensino Médio e aos propósitos do curso. A própria descrição do experimento com o prisma deveria ser mais detalhada, se o curso piloto fosse voltado à formação inicial de professores, mas no caso do nível de escolaridade enfocado pelo curso, optamos por uma simplificação. Um detalhe que pode ser simplificado ou omitido no curso piloto, pode fazer toda a diferença em outro contexto ou mediante outros objetivos pedagógicos.

OS4. Nível de detalhamento do contexto não científico

Defender que *a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época* requeria apresentar exemplos históricos de fatores extracientíficos que teriam influenciado os conteúdos da ciência tratados pelo curso.

Dois conteúdos do tema pareceram-nos adequados para chamar a atenção para isso: o prestígio de Newton contribuindo para a aceitação da teoria corpuscular e o apoio de Arago para que Fresnel desenvolvesse sua teoria, entretanto havia a preocupação de não sobrevalorizá-los, sugerindo posições extremas.

[25] Veja, por exemplo, Krapas et al. (2007); Staub (2010); Martins (1986).
[26] Veja, por exemplo, sobre a natureza da luz para Newton em Moura e Silva (2005; 2008a; 2008b).

Consideramos definir nível de detalhamento do contexto não científico um obstáculo superável, pois nos parece possível refletir e planejar a abordagem que permita mostrar a influência do contexto na construção da ciência, sem desvalorizar os outros aspectos. Com Newton, por exemplo, enfatizamos sua extrema dedicação na realização de inúmeros experimentos e na abordagem matemática.

No caso de Fresnel, buscamos ressaltar o apoio material de Arago para a realização de seus estudos, mas salientar a importância da matemática e dos resultados experimentais na elaboração e aceitação de sua teoria.

OS5. Nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos

A abordagem dos aspectos da NDC objetivados requeria a utilização de alguns conceitos epistemológicos. Nosso pressuposto de que os alunos nunca haviam estudado tais conteúdos foi confirmado durante as reuniões com a professora. Nesse momento deparamo-nos com a necessidade de optar por apresentar esses conceitos aos alunos ou assumir que sua compreensão poderia vir da sua própria utilização nas situações estudadas.

Decidimos enfrentar esse obstáculo e construir os textos e as atividades de modo a utilizar tais conceitos, sem defini-los formalmente, mas construindo uma narrativa que promovesse a sua compreensão.

OS6. Se, quando, quanto e como utilizar trechos de fontes primárias para o professor e para o aluno

A interpretação de fontes primárias não é um aspecto trivial da metodologia de trabalho do historiador da ciência. Tomemos como exemplo o episódio dos gregos.

Compreender Aristóteles falando sobre a luz, certamente, requereu muitos anos de dedicação dos especialistas. Tratar desse tema, sem possuir conhecimentos mínimos sobre a obra de Aristóteles em seu contexto, requer o apoio de fontes secundárias e conhecer minimamente aspectos metodológicos e historiográficos da História da Ciência.

Na elaboração dos textos do episódio I, que tratava da Antiguidade, foi necessário utilizar o apoio de várias fontes secundárias, na tentativa de minimizar uma compreensão equivocada dos trechos primários consultados.[27] Claro que, no processo de descontextualização do Saber Sábio e na sua recontextualização para a criação do Saber a Ensinar, levamos em conta que o resultado voltava-se aos objetivos do curso para o Ensino Médio e não para a comunidade de historiadores. Se, por um lado, isso minimiza certas exigências pertinentes à academia, por outro, *os cuidados com a mensagem que cada informação pode sugerir deve ser redobrado.*

No episódio II, o século XVII, consideramos que seria mais fácil construir uma narrativa no texto que pudesse auxiliar na leitura dos trechos primários. Muito provavelmente, essa decisão deveu-se a uma situação

[27] Cohen e Drabkin (1958); Lindberg (1992); Park (1997); Martins (1986); etc.

pessoal de maior familiaridade com esse período.[28] Pareceu-nos ser possível superar esse obstáculo estrutural auxiliando o leitor na interpretação dos trechos primários.

Essas duas situações extremas, apresentadas para esse caso particular (a elaboração do curso piloto), sugerem que a opção pelas fontes primárias deve ser feita mediante alguns requisitos. As circunstâncias contextuais da produção de determinada fonte primária deve ser minimamente conhecida pelo professor que irá utilizá-la em aula ou pelo autor do material didático.

Pensamos que estar seguro com relação à interpretação dos aspectos a serem discutidos é um requisito indispensável para o uso das fontes primárias. Além disso, é necessário selecionar um trecho inteligível ao aluno, despertar nele algum interesse, e não ser demasiado longo do ponto de vista do nível de escolaridade enfocado.

OS7. Formulação discursiva adequada ao nível de escolaridade visado

Construir um texto interessante e adequado ao estudante da escola básica, e, ao mesmo tempo, que contemple minimamente a epistemologia pretendida, é um obstáculo desafiador, mas superável.

Nossa proposta envolveu aspectos formais do texto, de vocabulário e de conteúdo. Decidimos utilizar a norma culta na correção gramatical, mas adotar uma linguagem coloquial e despretensiosa. Havia, é claro, muitos termos e expressões novas para os alunos, mas buscamos, sempre que possível, *que o próprio texto permitisse a sua compreensão*. Espera-se que o aluno adquira novos vocabulários e amplie seus conhecimentos, quaisquer que sejam os conteúdos trabalhados, e um texto que permita autonomia na compreensão da maior parte das novas expressões parece-nos que tende a apresentar melhor aceitação.

Tentamos construir textos de modo que o significado dos novos termos fosse tornando-se mais claro, conforme o estudante compreendesse os exemplos históricos. Com relação ao conteúdo, cada aspecto requereu reflexão sobre o que omitir, o que destacar e como abordar. Essas escolhas foram guiadas pelo papel que cada detalhe desempenharia no propósito do curso piloto.

[28] O século XVII foi o período enfocado em minha dissertação de mestrado – Forato (2003) – que tratou de alguns aspectos teológicos da obra de Newton, o que requer um conhecimento mínimo do período.

OS8. Tratar diacronicamente diferentes concepções de ciência e pensadores de distintas épocas, e conteúdos da História da Ciência de difícil compreensão na atualidade

Levar em conta as diferenças entre a concepção de ciência em distintas épocas e nas diferentes ciências foi um obstáculo estrutural que motivou, significativamente, nossa reflexão. Como o aluno poderia interpretar as diferentes concepções de ciência, tanto entre os três episódios enfocados, quanto em relação à ciência atual?

A análise teórica já apontava algumas possíveis concepções prévias dos alunos que seriam obstáculo para superar visões anacrônicas da História da Ciência, por exemplo: *o fracasso das teorias do passado deve-se ao atraso científico de cada período, que não possuía recursos tecnológicos adequados*.

Havia pouco tempo didático disponível para um longo e profundo estudo da contextualização sociocultural de cada período. Era preciso, também, preparar o professor para lidar com as possíveis manifestações anacrônicas dos alunos. Não poderíamos contar com narrativas especializadas da História da Ciência, uma vez que consideramos tais trabalhos inadequados para a escola básica. Buscamos construir textos curtos, agradáveis, respeitando a historiografia atual e que motivasse a leitura dos alunos. Além disso, lidávamos com o risco do relativismo, pois ao apresentar diferentes explicações em uma mesma época, corria-se o risco de sugerir que as diferentes teorias eram mera questão de opinião pessoal.

Como nos demais desafios, a estratégia proposta para superar esse obstáculo envolveu metodologia e conteúdo. Apresentamos a relação entre as visões de funcionamento do mundo de cada escola de pensamento e as teorias elaboradas para explicar a natureza da luz, por exemplo, as explicações dos atomistas para a luz eram coerentes com a aceitação do vazio, enquanto a explicação de Aristóteles era compatível com sua teoria para o funcionamento do universo, que rejeitava a ideia da existência do vazio.

Discutimos os fenômenos observados destacando também os aspectos favoráveis e as críticas às diferentes teorias feitas pelos pensadores de cada período, mostrando que havia coerência entre os processos de produção do conhecimento com os pressupostos metodológicos aceitos em cada época. Com isso, problematizamos a observação ateórica dos fenômenos naturais, nas distintas épocas, mesmo com distintos recursos tecnológicos disponíveis em cada cultura.

Dedicamos especial atenção aos conceitos de difícil compreensão na atualidade, como o éter, por exemplo, buscando mostrar sua utilidade no século XVII para explicar a interação entre os corpos sem recorrer à ação a distância, essa última inspirada nas forças ocultas da renascença, segundo alguns filósofos naturais do período.[29]

Selecionamos apenas aspectos pontuais das teorias da luz que permitiam compreender a necessidade, naquela época, de um meio material

[29] Forato, 2003, 2008; Martins, 1993.

para propagar vibrações ou ondas. Argumentamos que os fluidos imponderáveis eram comuns na física dos séculos XVII, XVIII e parte do século XIX, utilizados para explicar outros fenômenos naturais, não apenas a luz. Enfatizamos, na preparação da professora, que o éter e a ideia de outras substâncias e fluidos imponderáveis eram comuns na Física dos séculos XVII, XVIII e parte do século XIX.

Visando a enfrentar o pouco tempo disponível para a contextualização histórica, desenvolvemos uma proposta de *linha do tempo,*[30] que utiliza filmes comerciais épicos, familiares aos estudantes, para relacionar certos aspectos culturais presentes nas diferentes épocas e sociedades às respectivas concepções sobre a construção da ciência.[31] Os textos para os estudantes, em linguagem coloquial, enfatizavam explicitamente tais questões sobre a NDC.

Na tentativa de minimizar o risco de um relativismo ingênuo, o que não é compatível com os aspectos de NDC que adotamos, buscamos valorizar os processos e métodos da ciência como campo sistematizado em cada época, e a importância de experimentos e da matematização na proposição de teorias.

Os mesmos aspectos da NDC eram problematizados em diferentes atividades didáticas e nos três episódios históricos. Os textos os discutiam, gradualmente, tanto implícita quanto explicitamente, por meio de exemplos históricos, enfatizando e problematizando a visão anacrônica. Além de refletirem sobre os aspectos de NDC em apresentação do conteúdo com apoio de *slides*, textos, demonstrações de experimentos simples, outras atividades apresentavam a controvérsia entre as teorias.

Na atividade do debate, por exemplo, quando os alunos assumissem o papel de *cientistas*[32] do passado, tendo que justificar suas respectivas teorias utilizando somente os argumentos aceitos naquele período, eles vivenciariam uma dinâmica da defesa de suas ideias e teriam que construir argumentos para defendê-las.

No teatro, eles retomaram as controvérsias entre teorias, as reviram na avaliação com consulta e retornaram a elas nas criações para o festival cultural. Os mesmos aspectos de NDC foram revisitados de vários modos e foram enfatizados na preparação da professora, quando discutimos exemplos da pseudo-história presentes na mídia, nos livros didáticos e no ambiente sociocultural.

[30] Apoio para as atividades do curso "O Éter, a Luz e a Natureza da Ciência", disponível em: <http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais/o-eter-a-luz-e-a-natureza-da-ciencia>

[31] Forato, 2009, vol1, p. 77-79 e vol. 2, p. 26-28. Relatar os fatos históricos na seqüência temporal em que ocorreram não significa defender uma visão linear e acrítica da construção da ciência. A pseudo-história configura-se de abordagens problemáticas e tendenciosas dos documentos históricos e não da mera informação das datas seqüenciais em que ocorreram.

[32] No período retratado pelo debate, as concepções de ciência, de seus métodos e de seus protagonistas eram diferentes das atuais. Sob o ponto de vista historiográfico, os homens da ciência do século XVII eram filósofos naturais. A partir do século XIX os homens que pesquisavam o mundo natural passaram a ser chamados de cientistas. As diferentes denominações pretendem contextualizar suas práticas a seus respectivos períodos, chamando a atenção para as mudanças na concepção de ciência que ocorreram ao longo da História da Ciência.

OS9. Construção de atividades de ensino adequadas sob o ponto de vista pedagógico

Um desafio que enfrentamos na elaboração do curso foi *agregar situações fictícias aos episódios históricos* sem criar uma pseudo-história. Esse desafio manifestou-se na elaboração do roteiro para o teatro. Tínhamos a intenção de desenvolver uma atividade instigadora, envolvente do ponto de vista do aluno.

Era necessário tratar aspectos do conteúdo, mas também tornar o curso dinâmico, interessante e desafiador. Encenar uma peça teatral poderia atender a esses objetivos, entretanto reproduzir um episódio histórico *fidedignamente* em um roteiro de teatro exigiria muito mais tempo, estudo e experiência do que dispúnhamos no momento. Além do mais, nada garantiria que tal versão resultante seria atraente para os estudantes. Decidimos, assim, criar situações fictícias que pudessem enfocar os conteúdos históricos e epistemológicos, mas enfatizando que eram apenas uma invenção.

Consideramos, naquele momento, que o importante seria produzir situações que não distorcessem os aspectos da NDC, ainda que nunca tivessem ocorrido na História da Ciência. Todas as ressalvas aparecem no texto, advertindo ser uma obra de ficção.

Obstáculos a contornar: em busca de caminhos

Os obstáculos contornáveis são os desafios cujo enfrentamento exigiu ações e recursos para compensar situações pré-existentes ao curso, como a falta de preparação do professor, por exemplo. Tais dificuldades necessitaram de estratégias para sua compensação, pois não era possível superá-las no nosso contexto de trabalho. Consideramos esses obstáculos contornáveis, pois sua solução extrapolava os limites do curso piloto. Propusemos estratégias buscando compensá-las pontualmente, pois não foi possível propor uma solução ampla, conforme discutiremos a seguir.

OC1. Concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência

É necessário, quando se propõe utilizar a História da Ciência na educação científica, mediante as prescrições da historiografia atual, ter claro que se está apresentando um enfoque diferente da visão que os alunos e demais pessoas da sua convivência possuem.

Havíamos adotado como pressuposto que os alunos, provavelmente, iniciariam o curso piloto com uma visão excessivamente empirista e com a crença de que os cientistas provam suas teorias. Essas características haviam sido apontadas pela dimensão teórica, pois, ao recomendar o ensino da NDC, os especialistas buscam, exatamente, modificar tais concepções. Além disso, a visão que se buscava apresentar aos alunos é diferente daquela trazida pelos materiais didáticos.

O curso deveria lidar não apenas com concepções presentes fora do ambiente escolar, mas a visão apresentada pelo professor iria conflitar com aquela trazida por uma *autoridade escolar*: os autores do material didático, que gozam de prestígio no ambiente escolar.

Por que o aluno deveria considerar o ponto de vista do seu professor correto e o livro didático errado?

Pareceu-nos necessário que o curso antecipasse tais diferenças e preparasse os estudantes para lidar com essa mudança e com o confronto entre o novo enfoque e a visão ainda predominante na educação científica.

Desse modo, essa nova concepção de NDC que buscávamos ensinar não poderia ser simplesmente dita, proclamada. Julgamos indispensável que os alunos tivessem um contato significativo com esses conteúdos da ciência, no sentido de vivenciar algum tipo de conflito entre teorias ou problematização que os envolvesse.

Buscamos contornar esse obstáculo de duas formas. Primeiramente, fomos levantando dúvidas sobre a concepção a ser criticada ao longo da apresentação dos *slides*, na atividade do debate, no teatro e nos textos para os estudantes, e, ao mesmo tempo, fazendo provocações que instigassem os alunos a questioná-las. Introduzimos aos poucos os elementos que permitiriam propor uma visão alternativa, exemplificando o ponto de vista defendido:

> Já que a teoria atomista deixava tantas perguntas sem resposta, será que outra teoria não explicaria melhor o fenômeno visual? [...] Entretanto, a teoria de Empédocles também não conseguia explicar algumas coisas [...]. Quais as limitações desta teoria para a época? [...] Tanto a teoria atomista, como a de Empédocles, não explicavam por que não podíamos enxergar no escuro [...] A teoria de Aristóteles também recebeu críticas [...]. Todos estavam pensando sobre os mesmos fenômenos ópticos, buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos e matemáticos, porém, cada filósofo fornecia sua própria explicação para a luz e a visão. *Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?* [...] A observação da natureza era um ato fundamental para tentar explicar os fenômenos naturais. *Mas será que era suficiente?* [...] A natureza possui um tipo de funcionamento que pode ser entendido de maneira diferente por diversos filósofos e cientistas? Em sua opinião, por que os filósofos citados chegavam a diferentes conclusões? [...] Como a luz poderia ser uma onda no éter se ela não contorna os obstáculos como o som e como as ondas na água? [...] A teoria corpuscular [...] não conseguia explicar como os raios de luz que se cruzavam, não interagiam uns com os outros. Se eles fossem feitos de corpúsculos, como um raio não desviava o outro? Como a luz passava "dentro" da luz? [...] *Será que foram os argumentos puramente experimentais que fizeram a balança pender para um dos dois lados?* [...] Esse argumento poderia ter sido utilizado contra qual teoria? [...] Como dois feixes de partículas poderiam produzir uma imagem com regiões claras e escuras? [...] Porém essa mudança trazia consigo uma importante conseqüência: uma pedra provoca ondas na água, o som é uma onda no ar, mas e a luz? A luz é uma onda em que meio? Obviamente, naquela época, ninguém falava em campos, em ondas eletromagnéticas, isso só foi *inventado* no final do século XIX. [...].[33] (FORATO, 2009, p. 38-61, grifos da autora).

[33] Frases extraídas dos textos para os alunos, em Forato (2009, v. 2, p. 38-61). Disponível em: <http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais/o-eter-a-luz-e-a-natureza-da-ciencia>.

O segundo recurso para contornar esse obstáculo foi enfatizá-lo na preparação da professora. Chamamos a atenção para o fato de que, além dos livros didáticos, a mídia, direta ou indiretamente, veicula uma concepção da NDC ultrapassada, justamente aquela que pretendíamos modificar. Orientamos a professora para discutir isso com os alunos, sempre que possível, alertando-os para as situações que comumente encontramos, como por exemplo, declarações de que *mais uma teoria científica havia sido comprovada*.

Acreditamos que é possível ao professor identificar situações para discutir as diferentes visões da construção do conhecimento científico, quando tem consciência desse desafio.

OC2. *Falta de preparação do professor*

Preparar o professor das ciências para tratar aspectos filosóficos e históricos em sala de aula requer tempo, estratégias e material adequado. Na elaboração do curso, sabíamos que a professora a aplicá-lo não havia estudado tais conteúdos em sua formação.

Desenvolver recursos que pudessem compensar a falta desse conhecimento específico suscitou muitas dúvidas: quais recursos seriam adequados? Quanto de aprofundamento adicional seria necessário apresentar no texto do professor em relação ao do aluno? Como prever possíveis dúvidas dos alunos e fornecer subsídios para o professor lidar com elas? Alguns aspectos eram mais evidentes, como as interpretações anacrônicas sobre conceitos, pessoas, e a ciência do passado, conforme descrevemos em obstáculos anteriores. Poderia haver situações imprevistas, como dúvidas epistemológicas dos alunos não previstas no material.

Utilizamos três recursos para dar apoio à professora. O primeiro deles foi discutir nas reuniões todos os pontos previsíveis como mais críticos; outro recurso foi exemplificar no texto de apoio certos *detalhes* que pudessem esclarecer esses pontos críticos; e, finalmente, elaboramos apresentações em *slides* para auxiliá-la nas aulas. Esse último recurso foi o único para o qual consultamos a professora.

Os textos para os alunos e o próprio texto para o professor foram elaborados sem consultá-la, porque era parte da proposta da pesquisa vivenciar as dificuldades desse momento. Além disso, esse procedimento deveria ser autônomo e genérico, na medida do possível, para permitir que os resultados obtidos pudessem orientar outras situações. Os *slides*, consideramos necessários para apoiá-la nas aulas. Apresentávamos a aula para a professora, e quando havia algum detalhe mais crucial, ela pedia a inclusão de informações pontuais, para relembrá-la.

OC3. Inadequação de textos especializados de História da Ciência ao Ensino Médio

Não é possível esperar que o aluno do Ensino Médio compreenda o trabalho que o historiador da ciência escreve voltado para seus pares.

Na elaboração do curso piloto, utilizamos esses trabalhos como saber de referência, entretanto selecionar os aspectos fundamentais e descrevê-los de modo acessível aos alunos não foi elementar.

Conforme havíamos apontado na dimensão teórica, a transposição didática dos saberes de referência para o Saber a Ensinar prevê os complexos processos de descontextualização. Esses textos especializados são coerentes em si mesmos, possuindo uma estrutura argumentativa a explorar os detalhes históricos e científicos que permitam apresentar uma hipótese de trabalho e defendê-la, ou colocar uma questão e respondê-la. Tornar esse texto adequado ao estudante do Ensino Médio é bem mais do que meramente simplificar sua linguagem e omitir as informações *mais complicadas*.

A vivência desse desafio permitiu-nos perceber aspectos que não devem ser abordados, enquanto outros não podem ser omitidos. O objetivo visado com o uso daquele conteúdo seria definir *o quê* e *como* deveria ser abordado, e não meramente excluir aspectos mais *difíceis* para o aluno entender.

Um exemplo para esclarecer esse desafio é com relação ao experimento de Newton com o prisma. Os textos de referência[34] traziam vários detalhes dos experimentos realizados por Newton, até propor sua explicação para a dispersão da luz branca em um prisma. Um dos objetivos dos autores era mostrar que foi um processo bastante complexo, sendo necessário formular hipóteses e realizar inúmeros experimentos, lidando com diversas variáveis até chegar a uma conclusão. A visão em geral divulgada é a do *experimentun crucis*, que permitiu induzir sua teoria das cores.

Quando selecionamos esse conteúdo específico para o episódio II, pretendíamos criticar uma visão empírico-indutivista da ciência e reforçar a ideia da impossibilidade de observações neutras dos fenômenos. Esses textos traziam um conteúdo adequado para esse fim, contudo, o grande número de detalhes e os aspectos que fundamentavam a argumentação dos autores não eram adequados ao nível de escolaridade enfocado.

Por outro lado, não poderíamos simplesmente dizer: *Newton não realizou um único experimento, tampouco apenas experimentos, para concluir que a luz branca era uma mistura de sete cores. Ele utilizou hipóteses que guiaram seus procedimentos experimentais*. Seria necessário construir uma argumentação que pudesse mostrar aos alunos os caminhos mencionados pelos autores, mas em que nível de simplificação? O que poderíamos omitir? O que deveríamos destacar?

A proposta para enfrentar esse desafio percorreu o seguinte caminho: em primeiro lugar, a professora fez a demonstração experimental da dispersão da luz pelo prisma. Olhou para a mancha colorida projetada na parede e começou a perguntar aos alunos: quantas cores vocês veem? É possível distinguir onde termina uma cor e começa a outra? Por que será que a forma é alongada se o *buraco* por onde passa a luz é redondo?

[34] Martins e Silva (2001).

Dessa forma, antes de o aluno ter qualquer contato com o conteúdo a ser discutido, pretendíamos que ele se familiarizasse com o fenômeno, explorando possibilidades. Depois disso, a apresentação em *slides* explorava a interpretação corrente na época de Newton sobre o prisma modificar a luz. Fomos preparando o terreno para começar a relatar algumas das hipóteses aventadas por Newton e as sucessivas experiências que as derrubavam. Nesse momento, omitimos alguns detalhes, simplificamos outros, e *relatamos* proporções matemáticas sem fazer uma apresentação formal, tanto nos *slides* como no texto para os alunos.

Acreditamos que a combinação de estratégias: observar o fenômeno, acompanhar a apresentação em *slides*, e ler a sistematização no texto poderiam, conjuntamente, contornar o obstáculo enfrentado. Como a narrativa adequada desse episódio histórico, escrita por especialistas, não seria acessível aos alunos do Ensino Médio, foi necessário criar mecanismos para contornar esse problema.

OC4. Falta de pré-requisitos dos alunos em relação ao conhecimento matemático, físico, histórico, epistemológico e filosófico

Os conteúdos tratados no curso piloto eram todos novidades para os alunos, salvo alguns conhecimentos básicos de fenômenos ópticos como reflexão e refração da luz. Eles não conheciam os períodos históricos na dimensão necessária ao curso, nunca haviam estudado os conteúdos filosóficos ou epistemológicos a serem tratados, nem mesmo noções elementares que poderiam ser úteis para nossos propósitos. Além disso, não haviam estudado difração, superposição e interferência luminosas.

Era preciso desenvolver mecanismos para compensar tais deficiências. Para lidar com o conteúdo físico e com a omissão das fórmulas matemáticas, realizamos demonstrações experimentais, fizemos breve revisão dos fenômenos ópticos em *slides* e apresentamos os minutos iniciais (1min46s) da animação *Dr. Quantum*[35] (para auxiliar na compreensão da interferência luminosa).

Sobre os aspectos históricos, mencionamos apenas informações diretamente ligadas aos fenômenos discutidos, e decidimos por não investir na contextualização mais ampla do período. Infelizmente, muitos aspectos culturais do período foram omitidos. Para lidar com conteúdos filosóficos e epistemológicos, buscamos criar uma narrativa histórica que fosse apresentando, aos poucos, e na medida do possível, subsídios para os alunos entenderem os conceitos cruciais que seriam tratados.

Lidar com a falta de pré-requisitos não impõe apenas desenvolver estratégias para compensar essa ausência nas coisas que se quer ensinar, mas também escolher o que se deve omitir. Omitir a matematização foi ponto nevrálgico durante a elaboração do curso, uma vez que

[35] Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=lytd7B0WRM8>.

admitimos a matemática como estruturante do pensamento físico.[36] O que realmente se conhece de uma explicação para um fenômeno físico sem a abordagem matemática?

Não foi possível evitar o pesar sobre temas interessantes que o aluno, provavelmente, não terá oportunidade de aprender. Foi o caso, principalmente, das contribuições árabes durante a Idade Média, do peculiar cenário cultural permeando influências místicas e teológicas na obra de Newton, e o interessante aspecto do arrastamento parcial do éter pelos corpos transparentes na teoria de Fresnel.

OC5. Possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual de resolver todos os problemas

A concepção da capacidade da ciência atual de resolver todos os problemas é uma das facetas do anacronismo que vem sendo discutido em diferentes desafios e propostas. Posto aqui de forma mais genérica, foi contornado, basicamente, como os demais.

No material didático, buscamos mostrar a pertinência das ideias e dos recursos utilizados em cada época, procurando valorizá-los em seu contexto. Na preparação da professora, enfatizamos as possíveis facetas com que essa visão poderia se materializar, orientado-a para administrá-las.

OC6. Enfatizar aspectos científicos ou enfatizar fatores externos à ciência

Esse obstáculo é bastante complexo em função dos desdobramentos de suas possíveis soluções. Ele pode ser considerado um conflito, ou mesmo um dilema em algumas situações. Há dois objetivos estabelecidos para o curso piloto que justificariam a necessidade de enfatizar aspectos externos à ciência. Um deles é quando se pretende mostrar a influência de fatores extracientíficos na construção da ciência, visando a criticar a visão empírico-indutivista.

Para problematizar essa concepção de ciência, utilizamos dois pilares: (1) mostrar a impossibilidade de conclusões neutras e objetivas a partir da observação de fenômenos e experimentos; (2) mostrar a influência de fatores não científicos na aceitação de ideias, teorias e metodologias, entretanto tais estratégias envolvem riscos, como por exemplo, o relativismo, quando se desvaloriza demasiadamente a experimentação. Ou ainda, atribuir a grande aceitação das ideias de Newton no século XVIII, apenas ao seu prestígio.

Mais do que o dilema entre enfatizar um ou o outro, existe o desafio de contrabalançar ambas as informações. Quanto enfatizar de cada um? Como minimizar riscos de interpretações equivocadas? Até que ponto é possível atuar nessa mediação?

O outro objetivo de se utilizar conhecimentos de fatores não científicos no curso piloto seria promover uma compreensão do contexto. Na pers-

[36] Pietrocola (2002); Uhden et al. (2011).

pectiva historiográfica, é necessário contextualizar qualquer conteúdo da ciência para abordá-lo. Tal contextualização pode ser feita mediante aspectos internos à ciência, por exemplo, analisando outras teorias do período, o procedimento de outros *cientistas,* outras metodologias para investigar o mesmo fenômeno, as ideias que influenciaram a elaboração de determinado conceito, etc.

Nesse caso, compreender uma ideia da ciência em seu contexto é compreendê-la na perspectiva conceitual. Ainda que, implicitamente, ao estudar como procediam o pesquisador e seus pares, está-se criando o quadro teórico da época enfocada. Outra forma de contextualizar um conteúdo científico é entendê-lo na perspectiva cultural. Que valores, ideias, crenças de uma determinada sociedade influenciaram na elaboração de uma determinada teoria? Que necessidades políticas ou econômicas motivaram o desenvolvimento de determinados conceitos, teorias ou mesmo ramos da ciência?

Não foi possível contextualizar adequadamente todos os aspectos do curso piloto sob o ponto de vista historiográfico. Conforme dissemos, os saberes produzidos para historiadores da ciência e os saberes voltados ao ambiente escolar possuem funções sociais distintas. Nosso modo de superar ou contornar esses obstáculos foi, primeiramente, estabelecendo que não havia tempo didático para discutir inúmeros aspectos sociais e científicos do período. Depois disso, separamos os objetivos centrais em obstáculos menores e buscamos solucionar /contornar cada um deles. Incluímos, por exemplo, um breve texto sobre o iluminismo, enfatizando o papel do legado newtoniano na era da racionalidade.[37] Recorremos aos filmes históricos da linha do tempo para, de algum modo, remeter o estudante a alguns aspectos culturais de cada época.

Tal tentativa de contextualização mínima também foi feita mediante a comparação de teorias e ideias defendidas por pensadores contemporâneos, buscando adequar essa discussão ao Ensino Médio, naturalmente. Esses pontos foram explorados também para se lidar com outros desafios, pois alguns deles apresentam aspectos sobrepostos. Para mostrar algumas influências de fatores não científicos, utilizamos basicamente o prestígio de Newton, o apoio de Arago a Fresnel,[38] mas, em ambos os casos, buscamos destacar outros méritos das ideias, como a rigorosa matematização, o poder explicativo das teorias, os inúmeros experimentos realizados.

OC7. Quantidade da informação na forma de textos

Acreditamos que a preparação de um material em História e Filosofia da Ciência para o Ensino Médio requer a sistematização do conteúdo em textos. Ainda que possamos lançar mão de diversas atividades diferentes (conforme propusemos no curso piloto), é necessário que uma organiza-

[37] Forato (2009, v. 2, p. 38-61).
[38] Buchwald (1989).

ção das ideias seja registrada e sistematizada de forma que o estudante possa compreendê-las. Ao invés de ilustrações, fórmulas, gráficos e exercícios habituais no Ensino de Física, lidávamos com conteúdos históricos e filosóficos. Durante a elaboração do curso, houve uma preocupação em não sobrecarregar os alunos com a quantidade de textos, pois a leitura não é uma prática comum entre os estudantes do Ensino Médio.

A professora confirmou a falta do hábito de leitura dos estudantes, entretanto, esse foi um risco que decidimos assumir. No contexto de aplicação do curso piloto, não havia outra maneira de garantir o contato do aluno com o conteúdo sistematizado. Decidimos arriscar, entregando nove textos para leitura, incluindo o roteiro para o teatro. Supúnhamos que os alunos do Ensino Médio estranhariam uma *grande* quantidade de textos (cerca de 40 páginas) para estudar em apenas dez dias consecutivos.

Adotamos a estratégia de realizar a leitura de cada texto junto com os alunos durante as aulas, mas somente depois de ter abordado seu conteúdo em atividades didáticas diferentes. Desse modo, a leitura era uma organização dos conceitos já discutidos em distintas estratégias pedagógicas.

OC8. Extensão versus profundidade

Adotar a abordagem recortada dos episódios históricos sem perder de vista a compreensão panorâmica da história foi um desafio a enfrentar. A nossa opção para tratar a História da Ciência é pelo recorte, estabelecido desde o quadro teórico. As grandes sínteses são as versões que, em geral, apresentam mais problemas na interpretação da História da Ciência, como a tentativa de elaborá-las normalmente em uma reconstrução linear, que tende a estereotipar atores e simplificar demasiadamente os fatos. O risco de adotar visões problemáticas, anacrônicas e permeada por juízos de valor é muito grande.[39]

A opção pela extensão é própria da tentativa de utilizar a História da Ciência para se ensinar ciências e está vinculada à concepção historiográfica presente no ambiente escolar.[40] De um modo geral, seus elaboradores não são historiadores da ciência, então não é surpreendente que perpetuem esse tipo de narrativa histórica. Cabe aos especialistas a tarefa de investir na divulgação de versões históricas, orientadas segundo a historiografia contemporânea.

Havia a preocupação com a autonomia do aluno em localizar temporalmente os episódios a serem tratados. "O olhar aproximado nos permite captar algo que escapa da visão de conjunto, e vice-versa." (Ginzburg, 2006, p. 267). É necessário, na medida do possível, a visão da parte e do todo. Desse modo, julgamos necessário desenvolver uma estratégia pedagógica que pudesse favorecer o entendimento da localização histórica de cada episódio. Optamos pela utilização do recurso *linha do tempo*, descrito an-

[39] Allchin (2004); Kragh (1987); Kuhn (1997); Martins, L. (2005); Martins, R. (2004).
[40] Allchin (2004); Whitaker (1979).

teriormente, com imagens de pensadores, algumas produções intelectuais e filmes históricos para permitir ao aluno localizar de modo relativamente rápido a época em que ocorreu cada episódio tratado pelo curso.

Nossa hipótese nessa proposta foi admitir que conciliar o recorte histórico dos episódios, prescrito pela metodologia e historiografia da História da Ciência, com uma visão panorâmica de todo o processo, permitiria atender aos requisitos do ambiente escolar. Em outras palavras, esse recurso pedagógico traria uma proposta para lidar com um possível conflito entre extensão e profundidade em abordagens históricas. Ao mesmo tempo em que um conteúdo da História da Ciência fosse enfocado recortado e diacronicamente, a linha do tempo permitiria *visualizar* o momento histórico em que ocorreu e apontar para o contexto cultural adjacente.

Considerações finais

O caminho percorrido entre a análise teórica e a construção de uma proposta para a sala de aula real é tão complexo quanto fascinante. É, então, imprescindível um enfoque transdisciplinar para o conhecimento. Não se trata mais de diferentes olhares para um mesmo objeto, mas sim de se realizar um esforço para transpor os muros da especialização. Neste momento que se materializa, de fato, o olhar do educador sobre a inseparabilidade da concepção de ciência manifestada em seus discursos, seja na abordagem dos conceitos, na sua seleção para a sala de aula, ou no tipo de narrativa histórica que se adota e nas concepções dos processos de construção do conhecimento pelo aluno. Quando se defende, ou se discursa sobre, uma concepção sócio-histórica para a construção das ciências é necessário refletir se está em sintonia com os métodos adotados para o seu ensino e aprendizagem.

A construção de uma proposta para uma sala de aula real requereu o enfrentamento dos obstáculos de distintos graus de dificuldade. Alguns exigiram mais reflexão, empenho e assunção de riscos do que outros. Há alguns casos nos quais os desafios não eram exatamente dificuldades e sim, etapas que mereceram atenção e ponderação diferenciada.

Há outros casos nos quais os desafios geravam conflitos ou mesmo dilemas como, por exemplo, optar por excluir, ou não, a matematização dos fenômenos ópticos tratados. De qualquer modo, tanto buscar superar como contornar os obstáculos envolveu fazer escolhas e assumir riscos. É possível, e provável, que os obstáculos classificados como superáveis que são contornáveis mediante o contexto do curso piloto, revelem-se diferentes em outros contextos educacionais. Claro que é possível, também, o surgimento de outras dificuldades não explicitadas aqui trazidas por elementos contextuais específicos. Espera-se que essas reflexões possam apontar possibilidades e motivar a criatividade para essas situações imprevistas.

No momento da preparação do curso piloto, considerou-se que seria muito produtivo um trabalho conjunto com outras disciplinas, por exemplo, História, Filosofia, Literatura e Artes. Se outros professores da turma conhecessem os textos e os propósitos do curso, poderiam discutir aspectos de suas áreas de especialidade para favorecer ao aluno um entendimento mais amplo do conteúdo, porém, não seria possível contar com esse recurso naquele momento, e, mais do que isso, não seria apropriado para a pesquisa.

Uma vez que se pretendia avaliar a proposta para os usos da HFC na sala de aula, o contexto de aplicação deveria ser o mais autônomo possível, todavia, é interessante registrar essa possibilidade, pois um trabalho multidisciplinar poderia contribuir para a formação dos estudantes.

A etapa seguinte da pesquisa consistiu na aplicação do curso piloto e na análise dos dados obtidos. Percebeu-se que algumas das soluções propostas mostraram-se boas estratégias e outras requerem aprimoramento, especialmente com relação à formação do professor. A partir de tais resultados finais, foi possível propor um conjunto de parâmetros[41] para auxiliar o desenvolvimento de outros cursos e materiais didáticos.

Apresentamos uma breve relação de tais parâmetros, cuja explicitação exigiria uma longa discussão:[42]

- estabelecer os propósitos pedagógicos para os usos da HFSC no ensino;
- explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos epistemológicos pretendidos;
- selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados;
- selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da História da Ciência;
- confrontar os aspectos omitidos com os aspectos da NDC objetivados;
- definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado;
- mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas;
- avaliar quando é possível superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos;
- combinar um grupo de estratégias e recursos didáticos distintos pode compensar a falta de conhecimento em certos conteúdos físicos e matemáticos. Por exemplo, quando a omissão da Matemática é suficiente para os objetivos pretendidos: riscos envolvidos;
- definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos epistemológicos;
- ponderar sobre o uso de fontes primárias na escola básica;

[41] Forato et al. (2011); Forato et al. (2012); Forato (2009, v. 1, conclusões).

[42] Sem a discussão apropriada, corre-se o risco de entendê-los como regras óbvias a serem seguidas, mas a reflexão mais ampla aponta para importantes nuances e detalhes que são muitas vezes negligenciados. Veja em Forato (2009, v. 1, cap. 4), ou Forato et al. (2012).

- abordar, diacronicamente, os conteúdos da História da Ciência de difícil compreensão atualmente: interessante estabelecer relação entre resultados relevantes para a construção da ciência com conteúdos descartados ou atualmente considerados *esquisitos*;
- abordar, diacronicamente, diferentes concepções de ciência e o pensamento de filósofos, filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e civilizações: apresentar vários pensadores contemporâneos trabalhando com os mesmos pressupostos metodológicos pode auxiliar a crítica ao preconceito e a anacronismos;
- apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas;
- defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto, conflitos que permitam o questionamento de ideias preestabelecidas;
- compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes da HFC na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar manifestações anacrônicas. Materiais didáticos poderiam incluir orientações e advertências sobre ideias inesperadas e possíveis modos para se lidar com elas;
- permitir aos estudantes vivenciarem aspectos dos debates entre teorias rivais favorece a compreensão de aspectos da NDC;
- escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios técnicos e objetivos, pois envolver os estudantes é fundamental;
- ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos;
- ter em mente as diferentes funções sociais do conhecimento acadêmico e dos saberes escolares da escola básica;
- a linha do tempo com filmes comerciais pode auxiliar no dilema extensão x profundidade;
- questionar cada mensagem objetivada sobre a NDC em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos.

Como outras pesquisas vêm apontando, levar a HFC para a sala de aula envolve diferentes obstáculos, dificuldades e desafios. Esperamos que a apresentação do enfrentamento de alguns deles, de certas soluções conjecturadas, das incertezas, e dos riscos potenciais assumidos, possamos contribuir, de algum modo, para incentivar e auxiliar na transposição didática da História da Ciência para o ambiente escolar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa da qual decorre este trabalho.

Referências

AAAS (American Association for the Advancement of Science). *Science for all Americans. Project 2061*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1990.

AAAS (American Association for the Advancement of Science). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1993.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. The influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 37, n. 10, p. 1057-1095, 2000.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana. M. *O que é História da Ciência*. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, v. 13, p. 179-195, 2004.

ARDURÍZ-BRAVO, Agustín; IZQUIERDO-AYMERICH, Mercè. A research-informed instructional unit to teach the nature of science to preservice science teachers. *Science & Education,* 18, p. 1177-1192, 2009.

BRASIL. *Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais:* Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

BRUSH, S. G. Comments on "On the distortion of the history of science in science education". *Science & Education,* v. 63, p. 277-278, 1979.

BUCHWALD, J. Z. The battle between Arago and Biot over Fresnel. *Journal of Physics*, v. 20, p. 109-117, 1989.

CANGUILHEM, G. *Ideologia e racionalidade nas ciências da vida*. Trad. E. Piedade. Lisboa: Edições 70, 1977.

CARVALHO, A. M. P. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Orgs.) *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias*. Unijuí, Ed. Unijuí, 2006. p. 13-48.

CHEVALLARD, Yves. *La transposición didáctica:* del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.

CLAGETT, Marchall (Org.). *Critical problems in the history of science*. Madison; London: The University of Wisconsin Press, 1969. (Proceedings of the Institute for the History of Science, 1957).

CLOUGH, Michael; OLSON, Joanne. Teaching and assessing the nature of science: An introduction. *Science & Education,* v. 17, p. 143–145, 2008.

COHEN, M.R.; DRABKIN, I. E. (Eds.). *A source book in the Greek science*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

DEBUS, A. A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência,* 5, p. 3-13, 1991.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. *Fenomenologia e etnomatemática:* para além das grades da gaiola. Entrevista à IHU On-Line, 2011. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4159&secao=378>. Acesso em: 12 nov. 2011.

EL-HANI, Charbel N. (2006). Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. *In:* Silva, C. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências.* Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Ed. Livraria da Física. p. 3-21.

ERICKSON. F. Qualitative research methods for science education. In: Fraser B, Tobin K (Orgs.), International Handbook of Science Education Part One, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 1155-1173, 1998.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. *O método newtoniano para a interpretação das profecias bíblicas de João e Daniel na obra: "Observations upon the prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John"*. 2003. Dissertação. (Mestrado). São Paulo, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/ms-tcmf.htm>. Acesso em: 16 dez. 2011.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. *Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 3, 29-53, 2008.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. *A Natureza da Ciência como Saber Escolar:* um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. Tese. (Doutorado). São Paulo: FEUSP, 2009. 2 v.

FORATO, Thaís C. M.; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. A história e a natureza da ciência no Ensino de Ciências: obstáculos a superar ou contornar. ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Águas de Lindóia. *Atas*... Águas de Lindóia, 2010a. p. 1-12.

FORATO, Thaís C. M.; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. Alguns debates históricos sobre a natureza da luz: discutindo a natureza da ciência no ensino. In: MARTINS, Roberto de Andrade; LEWOWICS, Lúcia; Ferreira, JULIANA HIDALGO; SILVA, Cibelle C.; MARTINS, Lilian Al-Chueyr P. (Org.). *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 6º Encontro*. 1. ed. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2010b, v. 1, p. 616-626.

FORATO, Thaís C. M.; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de A.; Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FORATO, Thaís C. M.; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. *Science & Education*, v. 21, n. 5, p. 657-682, 2012.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I.F.; ALIS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GINZBURG, Carlo. *O fio e os rastros. Verdadeiro, falso, fictício*. Trad. Rosa Freire de Aguiar e Eduardo Brandão. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

GRAVOGLU, K. et al. Science and technology in the European periphery: some historiographycal reflection. *History of Science,* v. 46, p. 153-175, 2008.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education,* v. 20, p. 293-316, 2010.

HOLTON, G. What historians of science and science educators can do for one another? *Science Education*, v. 12, n. 7, p. 603-616, oct. 2003.

JARDINE, Nick, Whigs and Stories: Herbert Butterfield and the Historiography of Science. *History of Science*, v. 41, part 2, n. 132, p. 125-140, June 2003.

KRAGH, H. *An introduction to the historiography of science*. Cambridge: Cambridge U. P., 1987.

KRAPAS, Sônia; QUEIROZ, Glória; UZEDA, D.; CORREIA, J. P. O tratado da luz de Huygens: implicações didáticas. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2007, Florianópolis. *Atas...* Florianópolis, 2007. v. 1. p. 1-12.

KUHN, T. The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change, Chicago, London: University of Chicago Press, 1977.

LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present, and future. In: ABELL, S. K.; N. G. LEDERMAN (Eds.). *Handbook of research on science education.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, p. 831-880.

LEVITT, T. Editing out caloric: Fresnel, Arago and the meaning of light. *British Journal of the History of Science*, v. 33, n. 116, p. 49-65, 2000.

LINDBERG, D. The Beginnings of Western Science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B. C. to A. D. 1450. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação:* abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, André F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, Lilian A.-C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, Roberto de A. Introdução: a História da Ciência e seus usos na educação. In SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências.* Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006. p. 3-21.

MARTINS, Roberto de A. Huygens' reaction to Newton's gravitational theory. In: FIELD, J. V.; JAMES, Frank A. J. L. (Eds.). *Renaissance and revolution*: Humanists, scholars, craftsmen and natural philosophers in early modern Europe. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 203-13.

MARTINS, Roberto de A. (Trad.) "Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens". *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 4), p. 1-99, 1986.

MARTINS, Roberto de A.; SILVA, Cibelle Celestino. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education,* v. 10, n. 3, p. 287-305, 2001.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy and science education: the present reapproachment. *Science & Education,* 1, p. 11-47, 1992.

McCOMAS, W.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education*. 7: 511-532, 1998.

MEDEIROS; A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o Ensino da Física. *Ciência & Educação*, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Os "anéis de Newton": uma abordagem histórica. In: XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Rio de Janeiro. *Atas*... Rio de Janeiro, 2005.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Os Estados de Fácil Transmissão e Fácil Reflexão de Isaac Newton: modelos e contradições. *Episteme* (Porto Alegre), v. 27, p. 1-10, 2008a.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C. Newton Antecipou o Conceito de Dualidade Onda-partícula da Luz? *Latin American Journal of Physics Education*, v. 2, p. 218-227, 2008b.

NERSESSIAN, N. J. "Aether/or: The Creation of Scientific Concepts". *Studies in the History and Philosophy of Science*, v. 15, p. 175-212. (1984).

PAGLIARINI, Cassiano R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de Física para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo/ São Carlos, 2007.

PARK, D. The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light. Princeton University Press, 1997.

PIETROCOLA, M. A História e a epistemologia no Ensino de Ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica. In ANDRADE, A. M. R. (Org.). *Ciência em Perspectiva. Estudos, Ensaios e Debates*. Rio de Janeiro: MAST/SBHC, 2003. p. 133-149.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. *British Journal of History of Science,* 24, p. 61-78, 1991.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Ciência e arte: relações improváveis? *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 13, p. 71-87, 2006

RUDGE, D.; HOWE, E. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education,* v. 18, p. 561-580, 2009.

SANTOS, M. E. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: co-construção do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, Valinhos. *Atas*... Valinhos, 1999. 2, p. 1-14.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Orgs.) *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias*. Unijuí: Ed. Unijuí, 2006.

UHDEN, O.; KARAM, R.; PIETROCOLA, M.; POSPIECH, G. Modelling mathematical reasoning in physics education. Published online in *Science & Education* on October 20th 2011. DOI: 10.1007/s11191-011-9396-6.

VANNUCCHI, A. I. *História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula.* 1996. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Faculdade de Educação, USP, 1996.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – part 1. *Physics Education*, v. 14, p. 108-112, 1979.

AVALIANDO A INSERÇÃO DA TEMÁTICA NATUREZA DA CIÊNCIA NA DISCIPLINA DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA GRADUANDOS EM FÍSICA NA UFRN

CAPÍTULO 6

Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira
André Ferrer P. Martins

Considerações iniciais

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma investigação empírica a respeito de possíveis mudanças nas visões de Natureza da Ciência (NdC) de alunos da graduação em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em decorrência da implantação de uma proposta para ensinar conteúdos dessa temática na disciplina de História e Filosofia da Ciência, no primeiro e segundo semestres letivos do ano de 2010.[1]

Iniciamos o presente trabalho com uma breve retomada de considerações presentes na literatura acerca da temática Natureza da Ciência, as quais fundamentaram a iniciativa de levar tais conteúdos à disciplina de História e Filosofia da Ciência, adotando, em particular, uma abordagem explícita e contextualizada dos mesmos. Justificamos, ainda, que essa iniciativa foi também motivada pelos resultados que já havíamos obtido em investigações diagnósticas sobre as concepções de Natureza da Ciência de alunos da graduação em Física na UFRN.

Em seguida, discutimos os aspectos metodológicos da presente investigação. Apresentamos aspectos que consideramos relevantes acerca do planejamento da disciplina de História e Filosofia da Ciência ministrada para o bacharelado e a licenciatura em Física. Destacamos a realização de um pré-teste, caracterizado pela aplicação de um questionário aberto sobre a Natureza da Ciência no início do semestre letivo, e de uma entrevista semiestruturada, ao final do semestre, na qual foram retomados os aspectos abordados no questionário inicial. Os resultados obtidos nessa pesquisa são, enfim, comentados de maneira a se comparar as visões de Natureza da Ciência das turmas nesses dois momentos do curso.

[1] A professora responsável por ministrar essa disciplina, Juliana Hidalgo, é também autora deste artigo.

A literatura acerca da temática Natureza da Ciência

A expressão Natureza da Ciência (NdC), geralmente, é usada por pesquisadores para se referir a questões tais como: o que a ciência é, como funciona, como os cientistas atuam como grupo social, como a sociedade influencia e reage aos empreendimentos científicos etc. Sugere-se que os conhecimentos sobre NdC seriam relevantes para a tomada de decisões conscientes pela sociedade. Outros argumentos são citados na literatura a favor da pertinência desse tema para o ensino: manipulação e entendimento da tecnologia; compreensão da ciência como elemento cultural; compreensão das normas da comunidade científica; sucesso no aprendizado de conteúdos da ciência; satisfação dos estudantes ao aprender sobre NdC. Defende-se que sua presença humaniza o ensino de ciências, e que seria fundamental compreender o significado, a produção, as correlações, possibilidades e limitações do conhecimento (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; LEDERMAN, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008).

Embora não se pense numa relação de equivalência entre o que o professor sabe e o que ele efetivamente ensina, defende-se, já há algum tempo, a presença de cursos sobre essa temática na formação desses profissionais (MATTHEWS, 1994). Relatos de fins da década de 1990 indicavam que a formação dos docentes era falha nesse sentido. Os professores não sabiam sobre o funcionamento da ciência, consideravam que os cientistas tinham características peculiares e empregavam rigidamente o método científico para alcançar seus objetivos, não tinham consciência da construção social e cultural do pensamento científico etc. (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998; HARRES, 1999). Parte das primeiras propostas para ensino de NdC ignorava o fato de que os professores não estavam preparados para a tarefa. Após fracassos, a atenção foi redirecionada (LEDERMAN, 2007), pode-se dizer, no entanto, que apesar dos esforços para incluir a NdC nos diversos níveis de ensino, poucas mudanças têm ocorrido na prática.

A presença explícita dessa temática é bastante limitada, quer seja na formação dos licenciandos, quer seja dos bacharelandos das áreas científicas. O panorama pouco mudou nos últimos anos, tanto no exterior como no Brasil. Resultados de pesquisas não têm se refletido em ações e, em termos de pesquisa, ainda persistem muitas lacunas (CLOUGH; OLSON, 2008). Estudiosos têm se dedicado a elaborar propostas para ensinar NdC, e é necessário que essas sejam aplicadas e avaliadas, de modo que novas estratégias possam ser elaboradas, consoante nos afirma MCComas, 2008.

A partir de resultados já obtidos (LEDERMAN, 2007), tem se indicado que *não basta apenas que princípios de NdC sejam listados* àqueles que devem ser aprendidos sobre essa temática. É preciso ir muito além, e tal peculiaridade adviria da complexidade dos conceitos envolvidos. Há certa

convergência em torno de que *a abordagem desses conteúdos deve ser preferencialmente contextualizada, explícita e reflexiva* (MCCOMAS, 2008).

Em relação à necessidade de uma *abordagem contextualizada,* aponta-se que tratar de aspectos da NdC sem recorrer a exemplos para contextualizá-los seria ineficiente. Sugere-se a *História da Ciência como um dos caminhos possíveis* para essa contextualização: "No ensino de NdC em qualquer nível, exemplos da história da ciência são úteis para gerar discussões sobre NdC e compreender sua natureza contextual" (CLOUGH; OLSON, 2008, p. 144).

Como se sabe, a defesa da utilização da História da Ciência no ensino não é recente – ver, por exemplo, Matthews (1995); Peduzzi (2001). No que diz respeito à convergência Natureza da Ciência-História da Ciência, desde a década de 1940 vem se, efetivamente, utilizando exemplos históricos para discutir como a ciência funciona. A literatura recente da área de NdC tem reforçado essa estratégia. Por isso, estudiosos vêm se empenhando em estudar profundamente a História da Ciência para colaborar com o ensino de NdC.

Quanto à tendência atual de abordagens explícitas serem mais recomendadas, tem se notado que bons resultados costumam não ser obtidos, quando se espera que o aluno ou o futuro professor, diante de um episódio histórico, por conta própria, consiga abstrair aspectos implícitos relativos à NdC. Quando o que ocorre é apenas a apresentação de exemplos históricos dos quais *implicitamente* podem-se abstrair aspectos da NdC, as dificuldades de entendimento costumam ser grandes. Recomenda-se, por isso, que a abordagem desses elementos, via episódios históricos, deve ser preferencialmente explícita (MCCOMAS, 2008).

A NdC na graduação em Física na UFRN

Realizamos, no segundo semestre de 2009, uma avaliação diagnóstica a respeito das visões de NdC de graduandos em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como se pode ver em Ferreira, Martins *et alii* (2010). Nossa intenção, ao investigar as concepções sustentadas pelos 16 alunos que participaram da pesquisa, era nortear o planejamento de futuras ações que visassem à introdução dessa temática no Ensino Superior de Física nessa instituição.

Na ocasião, utilizamos um instrumento contendo 11 questões abertas: 1. Que objetivos ou finalidades tem a ciência, no seu ponto de vista? 2. As leis ou princípios científicos, uma vez estabelecidos, são verdadeiros. Discuta essa afirmação. 3. As investigações científicas começam pela observação do fenômeno a ser estudado. Comente essa afirmação. 4. Os cientistas, em seu trabalho, seguem um método estabelecido. Discuta essa afirmação. 5. Você acha que posições morais, religiosas, políticas etc.

influenciam o processo de investigação científica? 6. Há investigações científicas que dispensam a realização de experimentos? Explique sua resposta. 7. Que diferenças existem entre o conhecimento científico e outras formas de conhecimento? 8. "Observação de fatos, elaboração de hipóteses, comprovação experimental das hipóteses, conclusões, generalização" são as etapas do método científico através do qual a ciência produz o conhecimento. Discuta essa afirmação. 9. Há uma diferença entre lei e teoria? Dê um exemplo para ilustrar a sua resposta. 10. Cientistas realizaram um experimento cujos resultados estavam em desacordo com a Teoria da Relatividade de Einstein. Esses cientistas propuseram descartar a Teoria da Relatividade. Discuta essa atitude. 11. O que não é ciência, para você? Por quê?[2]

A análise dos dados evidenciou que parte significativa das respostas dos estudantes distanciava-se do que é considerado adequado, tendo em vista as discussões atuais em epistemologia da ciência. Alguns pontos que caracterizam uma visão distorcida da ciência puderam ser evidenciados: uma visão puramente empirista da ciência, a visão de que a ciência é ou deveria ser neutra, a crença de que o conhecimento pode vir a ser definitivo. Como mencionamos, ainda, naquela ocasião:

> Em vários casos, pudemos notar, ainda, a convivência dessas concepções consideradas não-satisfatórias acerca da natureza do conhecimento científico com concepções mais próximas às defendidas pela 'nova filosofia da ciência'. Possivelmente, tal convivência parece ser possível tendo em vista que os indivíduos não têm, em geral, possibilidade de refletir sobre essas questões, e costumam não se dar conta de possíveis incoerências em suas visões. (FERREIRA, MARTINS *et alii*, 2010, p. 12).[3]

Tomando como base esses resultados e o contexto sobre ensino-aprendizagem a respeito de NdC amplamente discutido na literatura da área, propusemos um planejamento para a disciplina de História e Filosofia da Ciência *centrado na abordagem explícita e contextualizada da temática NdC*. Essa decisão vinha ao encontro, portanto, da necessidade de abordar os conteúdos de NdC na graduação em Física, tendo em vista preencher uma lacuna na formação dos futuros bacharéis e licenciados.

A partir do primeiro semestre de 2010, implantamos essa proposta, a qual parte do pressuposto de que as discussões sobre Natureza da Ciência

[2] Essas questões retomam tópicos específicos de NdC presentes na literatura da área (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998, p. 513): o conhecimento científico tem caráter provisório; não há uma única forma de fazer ciência; ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais; leis e teorias exercem diferentes papéis na ciência, por isso, os estudantes devem perceber que teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais; observações são dependentes da teoria, não existe observação neutra; as ideias científicas são afetadas pelo contexto social e histórico. Um questionário bastante semelhante já havia sido utilizado numa investigação com alunos de pedagogia, resultando numa Dissertação de Mestrado orientada pelo coautor deste trabalho (ANDRADE, 2008). Na ocasião, para efeito de validação, o questionário foi previamente aplicado a uma amostra menor de estudantes de outros cursos de licenciatura da mesma universidade. Em função das respostas obtidas nesse estudo piloto, algumas reformulações no enunciado das questões foram realizadas.

[3] Resultados semelhantes foram obtidos em investigações realizadas com graduandos em Física do IFRN e graduados que atuam como tutores do Ensino a Distância da UFRN, pesquisas que podem ser encontradas em Oliveira, Ferreira (2011a); Oliveira, Ferreira (2011b).

são fundamentais quer seja para a formação do futuro professor de física, quer seja para o próprio físico bacharel, o qual, muito provavelmente, atuará no Ensino Superior.

A presente pesquisa, portanto, tem como objetivo avaliar os possíveis efeitos da abordagem explícita e contextualizada de aspectos de Natureza da Ciência direcionada a graduandos em Física na UFRN, no primeiro semestre de 2010.

Metodologia

Pré-teste: questionário aberto

A disciplina de História e Filosofia da Ciência, na UFRN, apresenta carga horária de 60 horas na estrutura curricular do bacharelado em Física e 90 horas na estrutura da licenciatura, sendo obrigatória no último período desses cursos. É permitido que os alunos do bacharelado matriculem-se nas turmas de HFC abertas para licenciandos, mas não o contrário.

No primeiro semestre de 2010, foi aberta uma turma diurna de HFC para o bacharelado, na qual se matricularam três alunos. O baixo número de alunos matriculados se deve à acentuada evasão notada no curso de Física. No segundo semestre de 2010, foram abertas duas turmas de HFC, uma diurna e outra noturna. A turma noturna continha nove alunos, sendo seis da licenciatura e três do bacharelado. A turma diurna desse mesmo semestre era formada por onze alunos, sendo um deles do bacharelado. O total de alunos nessas turmas do segundo semestre era de vinte alunos, portanto.

Realizamos com essas três turmas uma avaliação diagnóstica inicial. Logo no primeiro dia letivo, previamente ao contato com os conteúdos da disciplina, realizamos uma avaliação diagnóstica das concepções dos graduandos a respeito da temática Natureza da Ciência. Utilizamos o mesmo *instrumento de pesquisa, contendo questões abertas sobre NdC*, que havia sido aplicado anteriormente a graduandos do mesmo curso no ano anterior (ver seção anterior). Os alunos foram previamente informados de que o questionário não serviria como avaliação na disciplina. A participação na pesquisa era voluntária, mas todos concordaram em participar.

De modo geral, os alunos mostraram-se surpresos diante do primeiro contato com aquelas questões. O instrumento de pesquisa sensibilizou-os para as questões que seriam abordadas ao longo do semestre. Notou-se que os alunos queriam respostas imediatas para perguntas às quais não sabiam responder. Seus comentários, após a aplicação do questionário, revelavam indignação diante da constatação de que estavam concluindo o curso de Física, conheciam várias leis e teorias importantes, mas não sabiam responder à questão que perguntava sobre a diferença entre lei e teoria. Essa questão, juntamente com a que se referia à demarcação entre

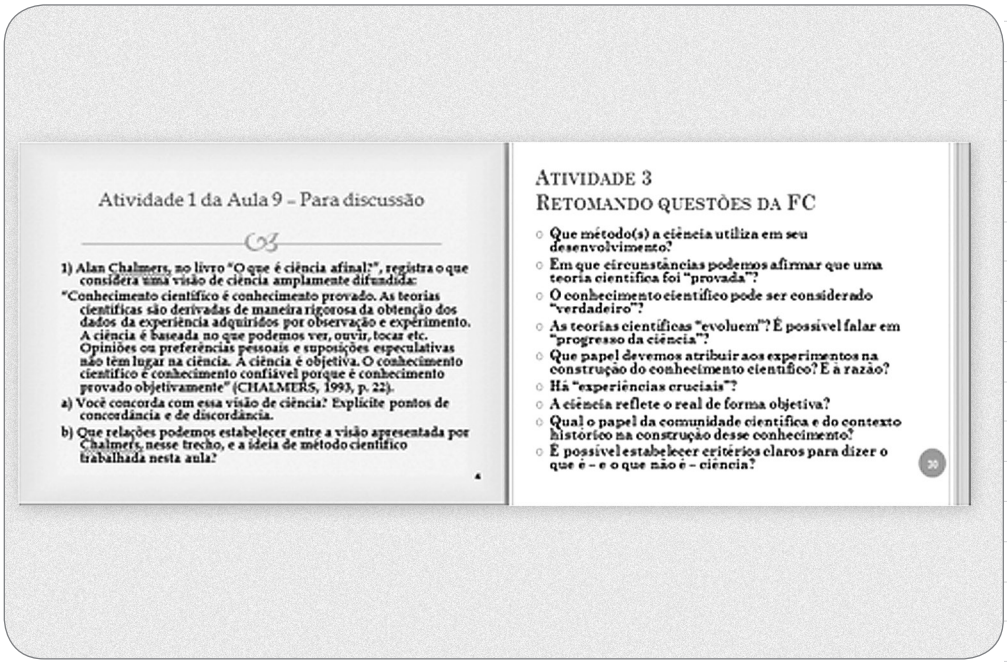
ciência e não ciência, parecia ser a que mais gerou dúvidas imediatas. Já a certeza de que os cientistas *aplicavam o método científico* e *comprovavam experimentalmente as leis* deu lugar, já com os primeiros comentários da professora após a aplicação do teste, a novas inquietações no grupo.

A disciplina de HFC

As aulas regulares da disciplina foram iniciadas, nas três turmas, seguindo a aplicação do questionário. O planejamento da disciplina tanto das turmas abertas para o bacharelado quanto das turmas abertas para a licenciatura contém um núcleo comum: uma sequência iniciada com um bloco de conteúdos de Filosofia da Ciência, seguida por um bloco de conteúdos de História da Ciência e um específico sobre Natureza da Ciência. Vale destacar que essa temática perpassa os dois blocos anteriores.

As aulas de conteúdo filosófico problematizavam a concepção de método científico, discutiam o *problema da indução* e apresentavam ideias de filósofos como Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend e Gaston Bachelard sobre o desenvolvimento da ciência. À luz das abordagens propostas por esses filósofos, discutiam de modo explícito questões como a demarcação entre ciência e não ciência, o papel do experimento na ciência, a influência na ciência de fatores extracientíficos, os objetivos da ciência etc. (Figura 1).

Figura 1 – Slides usados nas discussões na disciplina de HFC



Fonte: *Slides* elaborados pelos autores desta pesquisa.

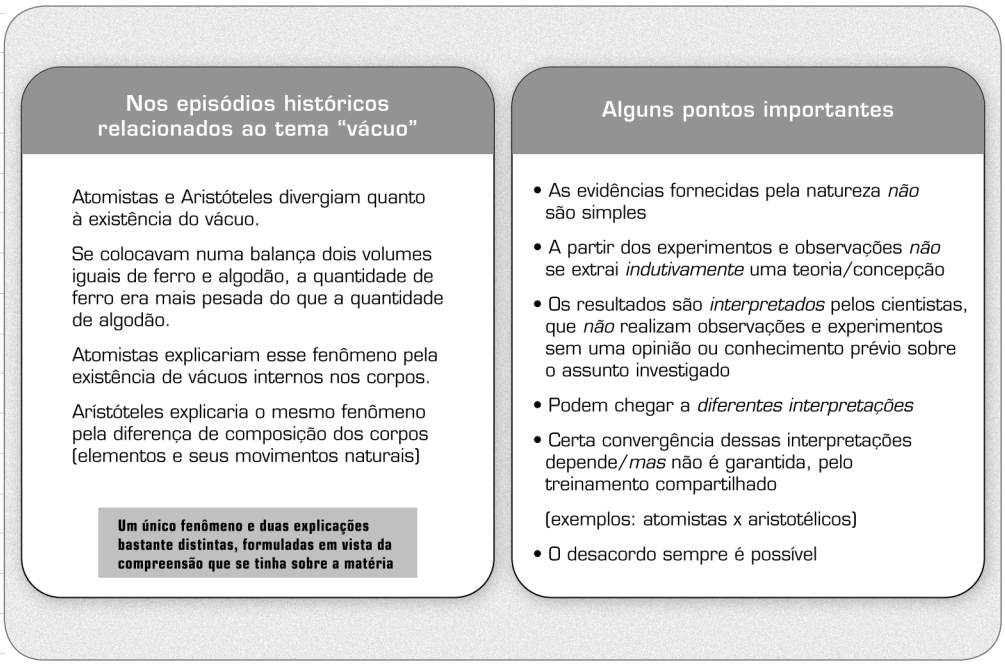
As aulas de conteúdo histórico versavam sobre o que é a História da Ciência como área de pesquisa, as relações entre História da Ciência e ensino, tópicos da História da Mecânica e da História das Ideias de Vácuo e Pressão. Nessas aulas específicas de conteúdo histórico, procurou-se, explicitamente, chamar a atenção para aspectos de NdC como a mutabilidade do conhecimento, o fato de que as observações são carregadas de teoria, a constante possibilidade de desacordo entre os cientistas, a questão da ciência como atividade de cooperação, dentre outros.

Finalizando o curso, uma sequência de aulas específicas sobre Natureza da Ciência comentava sobre a inserção dessa temática no ensino. Esse tópico, devido à sua relevância e à disponibilidade de maior carga horária nas turmas abertas para os licenciandos foi tratado de modo mais aprofundado no caso dessas turmas.

Essa sequência de aulas, embora tratada de modo não tão aprofundado, foi também mantida nas turmas abertas para os bacharelandos considerando que esses, como futuros professores do nível superior, precisam estar sensibilizados para essas questões.

Essas aulas retomavam, ainda, o instrumento de pesquisa respondido pelos alunos no primeiro encontro da disciplina, discutindo aspectos da Natureza da Ciência explicitamente por meio dos episódios históricos estudados no curso (ver, por exemplo, a Figura 2).

Figura 2 – *Slides* usados na disciplina de HFC



Fonte: *slides* elaborados pelos autores desta pesquisa.

Nas turmas abertas para a licenciatura, novamente em função da maior disponibilidade de aulas, os conteúdos da disciplina foram retomados também em seminários apresentados pelos alunos ao longo do semestre sobre os seguintes textos: *Sobre o ensino do Método Científico* (MOREIRA; OSTERMAN, 1993); *O Ensino de Ciências e o Professor Anarquista Metodológico* (TERRA, 2002); *Os programas de pesquisa de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia* (LABURU, ARRUDA, NARDI, 1998).

Pós-teste: entrevistas

Realizamos, ao final do primeiro semestre de 2010, entrevistas individuais semiestruturadas com os três bacharelandos matriculados na turma de HFC, os quais aceitaram voluntariamente participar dessa etapa da pesquisa.

No caso das turmas de HFC do segundo semestre de 2010, realizamos as entrevistas com cinco alunos, os quais, voluntariamente, dispuseram-se a colaborar.

As entrevistas retomaram os pontos abordados no instrumento de pesquisa aplicado no início da disciplina. Nossa intenção era comparar o panorama das concepções de NdC da turma no início da disciplina, obtida no pré-teste, à visão geral da turma obtida por meio da entrevista com o grupo que serviu como amostra.

É importante destacar que não solicitamos aos alunos que se identificassem nominalmente, ao responderem ao pré-teste escrito. Não era nossa intenção inicial acompanhar individualmente as concepções de NdC de cada estudante ao longo do semestre, no entanto, no caso da turma do primeiro semestre de 2010, devido ao número restrito de alunos matriculados na disciplina (três), foi imediato identificar a quem pertencia determinado grupo de respostas ao pré-teste.

Essa identificação, não intencional, a princípio, permitiu que os pesquisadores realizassem as entrevistas com os questionários em mãos, retomando as respostas escritas iniciais. À medida que as entrevistas transcorriam, quando conveniente, os entrevistadores pediam que os alunos confrontassem suas primeiras visões sobre os conteúdos de NdC às suas concepções sobre aqueles tópicos ao final da disciplina.

Resultados para a turma 2010.1

Pré-teste: questionário aberto

As respostas ao questionário foram analisadas tanto isoladamente, quanto por bloco, de acordo com as suas temáticas. Três delas foram tratadas isoladamente por se referirem a assuntos específicos (questões 1, 5 e 9). Outros assuntos como o papel do experimento na ciência, perpassavam diversas questões. É importante destacar que, embora os blocos de análise estivessem estabelecidos *a priori*, em função dos referenciais norteadores (consensuais) acerca da NdC, as categorias de análise foram construídas a partir das ideias centrais das respostas dos estudantes (BARDIN, 2004).

Os alunos da turma do primeiro semestre de 2010, todos bacharelandos, foram denominados 1, 2 e 3. Para essa turma, os resultados apresentados na Tabela 1 mostram determinadas concepções, atualmente, consideradas adequadas sobre a NdC, como a aceitação do caráter provisório do conhecimento científico. Os três alunos responderam de acordo com essa perspectiva às questões 2 e 10. Por outro lado, os resultados mostram também a presença, entre os alunos, de concepções consideradas inadequadas a respeito dessa temática, como a visão de que a ciência tem caráter benevolente e utilitário e se diferencia de outras formas de conhecimento devido ao fato de que os cientistas aplicam *o método científico*. As respostas revelam também a dificuldade dos alunos (formandos!) para diferenciar leis e teorias científicas, por exemplo.

Como mencionamos, em função do número restrito de alunos, pré e pós-testes puderam ser comparados, possibilitando não apenas uma *análise da turma* em si, mas também uma *análise individual* do que ocorreu com as visões de NdC. Sendo assim, deixamos comentários mais detalhados a respeito desta Tabela 1 para o próximo tópico dessa seção de resultados, que compara as visões de NdC dos alunos no início e final do semestre.

Tabela 1 – Resultados da aplicação do questionário – turma de HFC 2010.1

BLOCO	Questão	CATEGORIA	Alunos	Total de alunos	% de alunos por categoria
Finalidades da ciência	Q1	Compreender fenômenos/ natureza	1, 2, 3	3	100,0
		Caráter benevolente, utilitário (tecnologia)	2, 3	2	66,7
Caráter provisório do conhecimento	Q2	Leis estabelecidas não são verdadeiras	1, 2, 3	3	100,0
	Q10	Pode-se descartar (cautela, se há nova teoria)	3, 1, 2	3	100,0

Diferenças entre lei e teoria	Q9	Hierarquia – Lei superior (mais geral, verdade absoluta)	1	1	33,3
		Hierarquia – Teoria superior (mais elaborada)	2	1	33,3
		Não respondeu	3	1	33,3
Metodologia científica	Q3	Nem sempre começam pela observação	3	1	33,3
		Começam pela observação	1, 2	2	66,7
	Q4	Seguem método estabelecido	2, 3	2	66,7
		Não necessariamente seguem	1	1	33,3
	Q6	Não dispensam experimentos	1, 2, 3	3	100,0
	Q8	Concorda com a sequência do método	1, 2, 3	3	100,0
Ciência X outras formas de conhecimento	Q7	Usa método científico	2, 3	2	66,7
		Afirmações baseada na lógica	2	1	33,3
		Experimentação/precisão	1	1	33,3
	Q11	Usa método científico	3	1	33,3
		Usa argumentos lógicos	2	1	33,3
		Explica/descreve a realidade	3, 1	2	66,7
		Experimentação	1	1	33,3
Fatores extracientíficos	Q5	Sim, no passado	3	1	33,3
		Sim, mas não deveriam	2	1	33,3
		Influenciam	1	1	33,3

Fonte: elaborada pelos autores desta pesquisa.

Pós-teste – entrevistas

As entrevistas semiestruturadas, realizadas na conclusão da disciplina de HFC, procuraram retomar os aspectos de Natureza da Ciência abordados no instrumento de pesquisa aplicado inicialmente. A seguir, realizamos comentários sobre alguns elementos contemplados nas entrevistas.

Finalidades da ciência

Os três alunos do bacharelado em Física haviam manifestado, no questionário aplicado no início da disciplina no primeiro semestre de 2010, a concepção de que a finalidade da ciência era compreender os fenômenos naturais, e, dois desses alunos (2 e 3), haviam também apresentado respostas que denotavam uma visão benevolente ou utilitária da ciência.

Na entrevista, quando questionados acerca desse tema, os alunos 2 e 3 afirmaram, prontamente, que o objetivo da ciência era investigar e entender os fenômenos naturais. O aluno 3, espontaneamente, retomou

a sua resposta ao questionário inicial e afirmou que havia mudado de opinião em relação a considerar que a ciência era benevolente e tinha caráter utilitário. Atribuiu essa mudança, considerada por ele positiva, a "como a professora falou". O aluno 2 nada mencionou acerca de sua visão inicial de que a ciência era utilitária.

Já o aluno 1 demonstrou dificuldade para responder a essa questão. No questionário inicial, o aluno não deixou transparecer uma visão de ciência benevolente ou utilitária. Nota-se, no entanto, que esse aluno, aparentemente, não compreendeu o sentido de questionamento desse suposto caráter ao longo curso, e passou a dizer que "hoje pensa que a ciência não tem uma finalidade". Essa afirmação do estudante 1 causou perplexidade aos entrevistadores que procuraram, então, na ocasião da entrevista, entender melhor o que ele queria dizer com tal afirmação. Questionado, então, a respeito de se "a ciência faz uma busca cega", o aluno respondeu que "seria uma busca sem nenhum objetivo, só aprender coisas novas", e completou dizendo que "a ciência só serve para a gente construir conhecimento cientifico, as pessoas que fazem os benefícios são engenheiros e outras".

Para os entrevistadores parecia que, diante do questionamento das visões de caráter benevolente/utilitário, esse aluno, então, teria passado a expressar uma visão (também pouco adequada) de que o cientista é alheio a preocupações com as questões que o cercam na sociedade: "O interesse dele é só estudar, não está preocupado com nada não".

Indícios significativos de que essa visão era sustentada pelo aluno 1 surgiram logo em seguida na entrevista, quando um dos pesquisadores perguntou a respeito da influência de fatores extracientíficos na ciência. Pôde-se perceber que o aluno os via apenas como uma questão de afinidade pessoal do pesquisador para estudar determinado assunto.

Metodologia científica

Os três alunos, em resposta ao questionário escrito no início da disciplina, haviam concordado com a sequência do método científico na Questão 8. Os alunos 2 e 3 haviam, de modo coerente com essa resposta, afirmado, na Questão 4, que os cientistas seguem um método estabelecido, enquanto que o aluno 1 não, no entanto, o aluno 3, foi incoerente com a sua própria resposta sobre a sequência ao método (que começa com a observação), ao afirmar, na Questão 3, que as investigações nem sempre começam pela observação. Pôde-se perceber, assim, a convivência de algumas concepções adequadas e outras pouco adequadas a respeito da metodologia científica. Para os alunos 2 e 3, inclusive, a aplicação do método científico diferenciava a ciência de outras formas de conhecimento (Questões 7 e 11).

As visões desses alunos parecem ter sido influenciadas pelas discussões realizadas na disciplina de HFC. Na entrevista, diante do questionamento *"Existe uma maneira da ciência fazer isso [investigar e descrever os fenômenos]?"*, o aluno 2 afirmou que não há um padrão único, mas sim elementos relevantes na metodologia científica, que não seguem uma ordem rígida.

Esse aluno (2) ressaltou a mudança em sua visão acerca desse tema. Tal comentário não surgiu espontaneamente, mas sim quando citamos o que ele registrou no início da disciplina. Em resposta ao questionário escrito, ele havia concordado com as etapas do método científico. Naquela ocasião, dizia que o "trabalho científico segue", e chegou, então, até mesmo a explicar cada uma dessas etapas. Sobre a observação, por exemplo, ele escreveu: "[...] é preciso ser fiel aos fenômenos [...] antes de qualquer coisa é preciso observar".

Na entrevista, o aluno se referiu à sua visão anterior como o "que se tem no imaginário popular". Quanto ao papel do experimento, ressaltado por ele (aluno 2) no questionário escrito ("como no método científico a experimentação é uma etapa fundamental"), na entrevista, o mesmo considerou que a experimentação é de grande importância na ciência, mas reconheceu que nem todo trabalho cientifico teria a experiência como uma de suas etapas. A experiência teria o papel de reforçar uma teoria, mas não de validá-la, porque, segundo o aluno, validar seria dizer que uma teoria é uma "verdade absoluta". No mesmo sentido, para o aluno 1, a experiência não serviria para "comprovar, mas [para] se ver se aquele modelo é uma boa aproximação para o que a gente consegue enxergar".

O aluno 3, questionado a respeito de como via a questão do método científico, apresentou uma resposta semelhante à do aluno 2. Afirmou que o trabalho científico requer uma estrutura bem organizada, que as etapas citadas são relevantes, mas que "este método padronizado não é adequado", não é utilizado na prática, e que seria inadequado pensar que "quem está observando não tem conhecimento prévio". Já o aluno 1, na entrevista, reafirmou o que já havia mencionado em resposta ao questionário escrito: o conhecimento científico não se faz por meio de um método padrão.

Neutralidade da ciência

Podemos dizer, quanto à questão da influência de fatores extracientíficos na ciência, que os resultados obtidos por meio das discussões na disciplina de HFC ainda estão distante dos esperados. As opiniões no pré-teste dividiram-se. Um dos alunos afirmou que essa influência existe (aluno 1), outro (2) disse que ela existe, mas é possível evitá-la, e outro afirmou que ela existia no passado (3).

Na entrevista, quando perguntado acerca de "como a ciência trabalha", o aluno 3 demonstrou uma visão que se acerca de um ideal de "neutralidade da ciência": seria melhor encarar os fenômenos sem ideias pré-concebidas

para não influenciar o resultado do experimento. Segundo esse aluno, na prática, esse ideal não se manifesta porque o cientista tem intuição, existem influências culturais, políticas, religiosas. Citando "o que aprendeu", o aluno afirmou, explicitamente, que as observações são carregadas de teorias.

Nota-se, portanto, que esse aluno lembrava-se em parte do que foi discutido nas aulas de HFC, mas manifestou a visão equivocada de que existe um ideal de neutralidade a ser atingido. Esse aluno esquivou-se a responder acerca de "quem estabeleceu esse ideal de neutralidade?", quando questionado por um dos entrevistadores, no entanto manifestou, explicitamente, que a *neutralidade levava a resultados corretos,* citando um exemplo histórico em sua argumentação. Para ele, ao partir de uma "carga teórica equivocada" ("movimento como transformação"), Aristóteles chegou a uma interpretação equivocada para o movimento de um objeto lançado. Se tivesse analisado o fenômeno de forma neutra, *sem essa carga teórica*, teria chegado à conclusão correta. Percebe-se, portanto, que para explicar o movimento do objeto lançado por meio do conceito de inércia, o aluno 3 concebia que era preciso "apenas observar" *sem uma carga teórica*.

Esse tipo de visão de que há uma *prescrição de neutralidade que infelizmente não é seguida* foi manifestada por esse entrevistado (aluno 3) em diversos momentos ao longo de sua entrevista. Por outro lado, quando questionado, explicitamente, em determinados momentos a respeito de *se a ciência deveria ser realmente neutra*, o aluno mostrou-se confuso: primeiro disse que não, em seguida disse que não sabia, depois disse, novamente, que não, e terminou dizendo que esses fatores não devem ser deixados de lado, não são deixados de lado e são inevitáveis. E, ainda afirmou que ser "completamente neutro" não garante uma "observação melhor ou pior".

Pode-se dizer, assim, que, na entrevista, o aluno 3 demonstrou ter passado a aceitar que esses fatores influenciam a ciência em qualquer época. *Espontaneamente* deixou claro que essa situação era vista por ele de modo negativo, mas, ainda na entrevista, *quando questionado* a respeito desse ponto, voltou atrás e afirmou que a influência era normal e razoável.

O aluno 2 foi questionado em sua entrevista a respeito de ter apontado no pré-teste que a ciência é influenciada por fatores externos, mas que "idealmente tais fatores não deveriam influenciar em tal processo". É interessante notar que, apesar de ter dito em sua entrevista que as teorias são interpretações humanas, o aluno, quando questionado, reforçou a sua afirmação do início da disciplina e afirmou que "se a ciência devesse buscar uma explicação mais adequada da natureza esses fatores não deveriam influenciar". Já o aluno 1, na entrevista, continuou afirmando que essa influência existe, tal como já havia expressado no questionário escrito. E, esclareceu que ao se referir a essa influência "da sociedade", a entendia como uma questão exclusivamente de afinidade do pesquisador para determinada pesquisa.

Diferença entre lei e teoria

Nenhum dos alunos, no pré-teste, havia conseguido satisfatoriamente estabelecer essa distinção. Um deles não respondeu a essa questão (3), outro considerou que as leis eram superiores às teorias (1) e outro considerou justamente o contrário (2). Na entrevista, notou-se que essa questão continuou representando certa dificuldade para os alunos. O aluno 2 afirmou que não se lembrava do que havia respondido no início da disciplina. "Não fazia a mínima ideia da diferença entre lei e teoria" e havia respondido sem convicção. Atribuiu, explicitamente, às aulas de HFC a sua compreensão de que não há hierarquia entre leis e teorias, e de que leis são tentativas de representar regularidades da natureza e teorias são tentativas de explicar fenômenos.

Segundo o aluno 3, o que "a gente viu" foi que lei é uma "tentativa de explicar regularidades" e teoria é uma "tentativa de explicar fenômenos naturais". Quando questionado a respeito de como pensava antes da disciplina, esse aluno afirmou que pensava que sabia qual era a diferença, mas depois viu que não sabia. Afirmou ter mudado de ideia quanto a pensar que uma lei física era imutável ("inquestionável porque foi provada"), deixando claro que essa era a sua visão inicial, a qual agora relacionava ao *senso comum*.

Já o aluno 1, a princípio, mostrou-se bastante confuso na entrevista diante desse questionamento. Respondeu que "lei tá construída em cima de uma formulação matemática e a teoria não. A teoria é um estudo sobre um determinado assunto, então é algo mais abrangente. [...]. Não sei se é realmente". E, quando questionado a respeito do que a formulação matemática representava, afirmou que "ela representa [...] uma regularidade". Apesar dessa resposta satisfatória quanto ao conceito de lei, o aluno não conseguiu explicar o que significava uma teoria. Em sua fala, notam-se fragmentos do que havia sido discutido na disciplina de HFC em meio a uma incompreensão acentuada acerca da diferenciação entre lei e teoria.

Provisoriedade do conhecimento

Nota-se, quando se analisam os resultados da aplicação do questionário no início da disciplina a essa turma, um posicionamento unânime em favor da provisoriedade do conhecimento. Na fala dos alunos na entrevista, por sua vez, pode-se perceber novamente a afirmação explícita de que o conhecimento é provisório. O aluno 2, inclusive, procurou justificar a sua afirmação, recorrendo a argumentos: novas evidências experimentais podem surgir, as teorias são formuladas por seres humanos e dependem de interpretações e convicções pessoais. Para esse aluno, as teorias são "adequadas aos propósitos que a ciência tem atualmente".

Em princípio, fica implícito nas entrevistas dos alunos o entendimento de que apesar de não chegar a uma verdade absoluta, a ciência apro-

xima-se cada vez mais da verdade. Para o aluno 2: "[citando o exemplo da estrutura da matéria] Hoje em dia a gente tem evidências um pouco mais aprofundadas do que se obtinha anteriormente devido ao caráter experimental". Já para o aluno 3: "essas aproximações vão se tornando cada vez melhores a partir de novos dados, novas observações".

O aluno 1 também reforçou essa ideia ao dizer que:

> [...] em termos de conhecimento o que a gente tem de aproximação sobre a natureza eu acho que é melhor do que o que se tinha antes, das aproximações que eles tinham sobre a natureza, dos modelos que eram feitos [...] porque eles [os modelos novos] batem com mais experiências.

Na entrevista com o aluno 3, procuramos aprofundar um pouco mais essa questão. O aluno usou a mudança de visão geocêntrica para a heliocêntrica como o exemplo histórico da "troca de uma teoria por outra melhor, a que tem muitas hipóteses ad hoc é deixada de lado". Mas, quando questionado pelo professor sobre "se se aproxima mais da verdade", o aluno respondeu negativamente, parecendo retroceder daquilo que inicialmente havia deixado implícito em sua declaração, passando a afirmar que o que ocorre é que a ciência atualmente explica *mais coisas* do que no passado.

Demarcação entre ciência e não-ciência

Nota-se, quanto à complexa questão da demarcação, que, no questionário aberto, os alunos utilizaram critérios como método científico, experimentação etc. Deixaram transparecer, naquela ocasião, convicção em suas respostas. Já na entrevista, demonstraram, explicitamente, que a certeza *equivocada* deu lugar à insegurança diante da inexistência de uma resposta definitiva para essa questão.

O aluno 3 expôs que: "Em princípio, de longe, parece ser visível a diferença, mas é complicado estabelecer fronteira". Questionado a respeito do que seria ver *de longe*, o aluno afirmou que a ciência pretende ter "maior rigor na explicação dos fenômenos", mas a fronteira seria difícil de definir.

O aluno 2 também expôs que não há uma maneira rígida de fazer a diferenciação, e que existem conhecimentos *de fronteira*, como a psicologia. O aluno citou que existem critérios relevantes. Esses, em sua visão, parecem dizer respeito tanto a requisitos importantes na prática científica (citando a experimentação), como a requisitos inerentes à relação entre a ciência e a sociedade (citando a aceitação do conhecimento produzido pela ciência por grande número de pessoas).

Resultados para as turmas 2010.2

Pré-teste: questionário aberto

Os resultados obtidos para as turmas de HFC do segundo semestre de 2010 estão expressos na Tabela 2, a seguir. Na totalidade, vinte alunos responderam ao questionário nas duas turmas. Nossa intenção não era comparar licenciandos a bacharelandos, nem alunos da turma diurna a alunos da turma noturna. Por isso, os questionários respondidos foram simplesmente numerados sem qualquer distinção.

Tabela 2 – Resultados da aplicação de questionário turmas de HFC 2010.2

Bloco	Questão	Categoria	Alunos	Total de alunos	% de alunos por categoria
Finalidades da ciência	Q1	Compreender fenômenos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	16	80%
		Caráter benevolente, utilitário (tecnologia)	1, 2, 3, 4, 14, 15, 17, 18, 16, 19	10	50%
Caráter provisório do conhecimento	Q2	Leis estabelecidas não são verdadeiras	1, 2, 3, 4, 14, 5, 15, 6, 8, 20, 11, 12, 13	13	65%
		Leis estabelecidas são verdadeiras	17, 19, 7, 18, 9, 10, 16	7	35%
	Q10	Não pode descartar (cautela, experimento sujeito a erros, precisa de nova teoria)	3, 19, 8, 16, 13, 12, 17, 15, 5, 20	10	50%
		Pode descartar (cautela, precisa de nova teoria)	1, 2, 14, 6, 18, 10, 11, 4	8	40%
		Não respondeu	7, 9	2	10%
Diferenças entre lei e teoria	Q9	Hierarquia – Lei superior (verdadeira, comprovada)	1, 3, 4, 14, 5, 19, 9, 16, 10, 12, 13	11	55%
		Hierarquia – Teoria superior (contém leis)	6	1	5%
		Não respondeu/Outros	20, 7,11,15,18	5	25%
		Só exemplifica	2, 17, 8	3	15%

Metodologia científica	Q3	Nem sempre começam pela observação	4, 15, 6, 19, 8, 20,	6	30%
		Começam pela observação	1, 2, 3, 14, 5, 17, 7, 18, 10, 11, 16, 12, 13	13	65%
		Não respondeu	9	1	5%
	Q4	Seguem método estabelecido	1, 2, 3, 5, 6, 7, 18, 9, 10, 13, 11, 16, 12	13	65%
		Não necessariamente seguem	4, 14, 17, 19, 8, 20, 15	7	35%
	Q6	Não dispensam experimentos	2, 3, 4, 14, 5, 8, 10, 11, 16, 13, 20	11	55%
		Dispensam experimentos	1, 15, 17, 6, 19, 18, 9	7	35%
		Outros	7, 12	2	10%
	Q8	Nem sempre essa é a sequência	19, 4, 15, 8, 20, 13	6	30%
		Concorda com a sequência do método	1, 2, 3, 14, 5, 6, 7, 18, 10, 11, 16, 12	12	60%
		Não respondeu	9	1	5%
Ciência X outras formas de conhecimento	Q7	Comprovação	7, 8	2	10%
		Método Científico	11, 5, 2	3	15%
		Metodologia, reprodutibilidade	3	1	5%
		Evolui, busca a verdade	12, 1, 4	3	15%
		Fundamentação, aprofundamento, linguagem, matemática, lógica	18, 17, 5, 19	4	20%
		Não dogmática, testável	14	1	5%
		Forma de transmissão	6, 10, 16	3	15%
		Não categorizada	20, 13	2	10%
		Não há diferença	9	1	5%
		Não sabe	15	1	5%
	Q11	Ciência é mutável, não dogmática	12, 20	2	10%
		Sem distinção	14, 5, 17, 6, 18	5	25%
		Não-ciência não é passível de discussão, mitos	15, 4	2	10%
		Ciência é útil/benéfica	13	1	5%
		Ciência é provada, verdadeira	8, 16, 7, 2	4	20%
		Método científico	11	1	5%
		Não categorizada	1, 10	2	10%
		Não respondeu	3, 9	2	10%

Fatores extracientíficos	Q5	Sim, é inevitável	1, 2, 3, 15, 6, 19, 20, 10, 16, 12, 13	11	55%
		Sim, no passado	8, 9	2	10%
		Sim, mas é possível evitar, Não deveriam influenciar	14, 18	2	10%
		Não influenciam	17, 7, 11	3	15%
		Sim (não explicou)	5	1	5%
		Outros	4	1	5%

Fonte: elaborada pelos autores deste trabalho.

Em relação à temática do Bloco 1, notamos que metade dos alunos atribuiu à ciência um papel utilitário. Já quanto à provisoriedade do conhecimento a parcela dos que consideraram que as leis científicas são verdadeiras também foi significativa, chegando a 35% dos estudantes.

Quanto à questão 10, que se referia à possibilidade de descartar a Teoria da Relatividade com base em evidências empíricas, notamos que cerca de 40% dos alunos demonstraram certa reticência. Essa reticência, na maior parte dos casos, pareceu estar relacionada não a uma posição dogmática favorável à referida teoria, mas sim a uma questão de cautela: evidências adicionais, necessidade de repetir o resultado etc.

Dentre os 20 alunos que responderam ao questionário pode-se dizer que nenhum deles apontou de modo adequado a diferença entre lei e teoria, reconhecendo seus distintos papéis na ciência. Possivelmente, essa é a questão em relação à qual os estudantes demonstram mais dificuldade. E, adicionalmente, nota-se que aqueles que demonstraram maior convicção quanto à validade de suas respostas (equivocadas) a essa questão, responderam no sentido de que leis eram provadas enquanto as teorias eram meras suposições. Também foi significativa a proporção daqueles que responderam que as investigações científicas começam pela observação.

Embora haja uma parcela considerável de 35% que consideram que os cientistas não necessariamente seguem um método estabelecido, é ainda mais acentuado o percentual (65%) dos que afirmam que o seguem. E, quando apresentados à sequência do método científico tradicionalmente enunciada, um número aproximado a esse (cerca de 60%) concordou com tal sequência. Como essa sequência inicia-se com a observação, seria razoável esperar que aqueles que com ela concordam também estivessem de acordo com a afirmação de que as investigações científicas começam com a observação. De fato, o índice dos que concordam com essa afirmação é de 65%. Pode-se notar, assim, a existência de coerência em relação a visões equivocadas de NdC.

As respostas dos estudantes das turmas de HFC do segundo semestre de 2010 dividiram-se em amplo espectro quanto à questão da diferenciação entre ciência e não-ciência: uso do método científico, comprovação,

fundamentação etc. A resposta *testabilidade* foi registrada em um dos questionários do turno noturno. Novamente, a coerência entre respostas inadequadas (tendo como ponto de vista as concepções de NdC atuais) foi notada nos questionários. Dois alunos responderam às duas questões sobre essa temática, indicando que a diferença estaria na comprovação do conhecimento dito científico.

Na seção seguinte, realizaremos outros comentários acerca desses resultados, comparando pré e pós-testes dessas turmas.

Pós-teste

Cinco alunos matriculados nas turmas de HFC no segundo semestre de 2010 foram sorteados e aceitaram participar das entrevistas semiestruturadas realizadas no final da disciplina. Esclareceu-se, inicialmente, que a participação na entrevista não contaria como avaliação da disciplina.

As entrevistas foram analisadas no sentido de permitirem um panorama representativo das concepções das turmas ao final do semestre letivo. Não havia a intenção de avaliar individualmente o que ocorreu com cada aluno ao longo do semestre. Comparar individualmente as respostas ao pré e pós-teste nem mesmo seria possível, tendo em vista que o questionário aplicado como pré-teste não solicitava que o aluno se identificasse nominalmente.

Diversas vezes, no entanto, durante as entrevistas, os indivíduos expressaram-se espontaneamente quanto a alterações em suas percepções em relação a determinadas temáticas. Pudemos também avaliar cada entrevista no sentido da coerência e articulação dos comentários apresentados na mesma por determinado indivíduo. Os indivíduos foram identificados como A, B, C, D, E.

Metodologia científica, papel do experimento na ciência

O indivíduo A, quando questionado sobre que método a ciência utiliza em seu desenvolvimento, lembrou-se das discussões realizadas em aula sobre a inexistência de um método científico único, rígido, universal, seguido passo a passo pelos cientistas. Ressaltou em sua fala que a metodologia científica não é fixa, mas sim mutável e sujeita a "influencia de pensamentos de uma época". Segundo esse indivíduo, no início da disciplina, tinha uma noção ainda vaga sobre essa questão, a qual se tornou "bem melhor a partir da disciplina de HFC".

Já os indivíduos B, C, D e E afirmaram que no início da disciplina tinham convicção de que havia um método científico universal seguido pelos investigadores. Dois alunos (C e E), afirmaram, ainda, que o contexto de ensino reforçava essa visão, expressa na fala de professores. A disciplina, segundos os alunos, colaborou para a mudança dessas concepções: "reformulasse esse meu pensamento" (B); "hoje, depois da

disciplina, eu consegui ver" (C); "foi mesmo ao longo da disciplina [...] é o que a gente percebeu" (D); "é, antes da disciplina eu acreditava muito" (E). Passaram a considerar que: "não existe esse método a ser seguido" (B); "não existe um método universal para se estudar ciência, que a ciência pode ser estudada de forma mais livre" (C); "não tem um método bem específico – siga isso que vai dar certo" (D); "não existe um método [...] rígido, universal, como seguir passo a passo" (E).

Como vimos na Tabela 2, na aplicação do pré-teste, 65% dos alunos responderam que os cientistas seguem um método estabelecido. No pós-teste, um dos entrevistados afirmou que no início da disciplina tinha uma vaga opinião sobre o assunto, enquanto os outros quatro disseram-se favoráveis àquela visão equivocada antes do contato com os conteúdos de NdC. Seja por uma mudança de opinião ou pelo esclarecimento de dúvidas, a disciplina de HFC parece ter colaborado para que todos os indivíduos entrevistados demonstrassem não acreditar na existência de um método científico rígido, universal, seguido passo a passo pelos cientistas.

Quando questionado a respeito do papel do experimento na ciência, o indivíduo A afirmou que esse "vai dar o veredito de tudo [...] você tem nele o papel fundamental na comprovação de seus dados". Assim, transparece na fala do aluno A a independência do experimento em relação ao pesquisador. O experimento parece poder falar por si próprio, dizendo ao pesquisador se certas hipóteses estão corretas ou não.

Já os alunos C e E indicaram na entrevista que antes de cursarem a disciplina de HFC mantinham esse tipo de visão. Esses dois indivíduos atribuíram às discussões realizadas, ao longo do semestre, mudanças em suas concepções a respeito do experimento e seu papel na ciência. Citamos abaixo a fala bem articulada do aluno C:

> [...] a gente não deve se apegar ao experimento para dizer que ele vai determinar o que é e o que não é ciência. Eu confesso que no início, antes de pagar HFC, eu tinha essa visão empirista da vida, até porque, até comentei em sala de aula, nós temos muitos catedráticos [...] dando exatamente esse sentido que o experimento vem primeiro, o experimento fala, o experimento prova, aí a teoria tem que se adequar àquilo. Hoje eu não vejo mais dessa forma [...] a experimentação tem o seu papel, tem sua importância [...] mas não essa vitalidade. Não é o experimento que vai derrubar tudo que foi estudado ou tudo que está sendo proposto.

A respeito dessa fala chama a atenção o fato de o aluno C atribuir ao Ensino Superior o reforço de suas concepções inadequadas acerca desse tema. Pode-se notar que esse indivíduo critica a visão segundo a qual o experimento fala por si próprio. Tal questionamento também transparece nas falas dos indivíduos E e B, e é reconhecido como decorrente das discussões realizadas ao longo do semestre. O indivíduo E afirmou que, com a disciplina, deu-se conta *que* "antes do experimento e da observação a

gente tá carregado de teoria". Para o aluno B, foi possível concluir que o experimento depende de certos conhecimentos prévios do pesquisador.

Quando questionados sobre a possibilidade de concluir que uma teoria está provada quando obtemos certos resultados previstos por ela, todos os estudantes entrevistados (A, B, C, D e E) afirmaram que não: contraexemplos poderiam ser encontrados; os resultados obtidos por um pesquisador podem ser contestados por outro.

No caso do estudante A, poderíamos afirmar que ele teria entrado em contradição se entendêssemos que a palavra *comprovação,* usada por ele em referência ao papel do experimento, significaria o estabelecimento de uma verdade permanente, não provisória, no entanto, não haveria contradição caso a palavra tivesse sido usada em sentido análogo ao empregado pelo estudante E: um experimento seria capaz de provar uma teoria "em parte", no sentido particular, já que o conhecimento em si seria provisório. E, de fato, quando observamos os comentários do indivíduo A em outro momento da entrevista vemos que, para ele, *provar cientificamente* significa que determinado conhecimento é aceito pela comunidade científica *naquele momento, naquele instante, naquela época.*

Todos os estudantes entrevistados rejeitaram a afirmação de que um experimento permite descartar uma teoria. Os estudantes A, B e E reagiram dizendo que o investigador deve, nesse caso, dedicar-se a um estudo mais aprofundado da questão para entender o que está ocorrendo e, inclusive, realizar novos experimentos. Os indivíduos C e D acrescentaram, ainda, que para a derrubada de uma teoria é necessária a existência de outra que a substitua.

Neutralidade da ciência

15% dos estudantes afirmaram, no pré-teste, que a ciência não é influenciada por fatores externos.

Já no pós-teste, citamos como exemplo da visão sustentada pelos estudantes acerca dessa temática a fala do indivíduo A: "tem forte influência sobre o que é pesquisado e de que maneira a pesquisa é realizada". E, diversamente dos outros, ao ser questionado sobre essa temática, o mesmo aluno lembrou ainda da possibilidade de pessoas de uma mesma época chegarem a conclusões diferentes sobre um experimento devido a cargas teóricas diversas guiarem suas pesquisas.

Para todos os estudantes entrevistados (A, B, C, D e E), a ciência é *inevitavelmente* influenciada por fatores sociais, políticos, culturais e religiosos. Vale destacar, no entanto, que para o aluno E essa influência seria mais forte do passado. Já o aluno B demonstrou certa visão negativa acerca dessa influência, a qual transparece como uma fraqueza humana, um fantasma inevitável assombrando a imparcialidade ideal.

Diferença entre lei e teoria

Tanto os resultados do pré como do pós-teste indicam que discutir a diferença entre lei e teoria teria sido a questão mais difícil para os participantes da pesquisa. Em ambos os casos não houve resposta satisfatória a essa questão.

No pós-teste, a manifestação de dúvida foi recorrente nos comentários: "Não ficou muito claro para mim [...]" (C); "fiquei meio confuso (A)"; "Essa é a questão é a questão que me pegou" (B); "como eu posso dizer [...] ficou meio confusa na minha cabeça [...] Mais para agora tem diferença, um semestre todinho matutando" (E). Um dos alunos afirmou: "não parei pra pensar e ainda até hoje buscando um pouquinho da professora e ela não disse o que era teoria e uma lei. [...] ou foi numa aula que eu faltei" (D).

A dificuldade notada indica que essa questão precisa ser melhor explorada na disciplina de HFC, no entanto, ao que tudo indica, essa pode ter sido bem sucedida no sentido de chamar a atenção do aluno para a existência de alguma diferença e, ao mesmo tempo, abalar a certeza equivocada, manifestada por alguns, de que "leis são provadas e teorias são suposições".

A disciplina parece ter deixado a desejar no sentido de promover discussões em que essa diferença pudesse ser satisfatoriamente esclarecida. Apenas fragmentos do que se pretendeu ensinar transpareceram nas falas dos entrevistados.

De formas diferentes os alunos A, C, E responderam que lei estaria relacionada a descrever uma regularidade na natureza: "descrever [...] se um fenômeno ocorre sempre de uma maneira" (A); "lei tem o papel de descrever um determinado comportamento" (C); "[...] descreve regularidades da natureza" (E).

Diferentemente da lei, para o aluno E, a teoria tenta "prever ainda o que vai acontecer ou algo desse tipo". Já o aluno B respondeu recorrendo aos significados mais comuns dados a esses termos e expressou claramente a sua dificuldade:

> [...] eu primeiramente não sei assim bem distinguir lei e teoria. Fiquei até estudando assim e fiquei pensando e ficava lei com lei de justiça que era alguma coisa que você impõe e tem que ser seguida e a teoria é mais aquele negócio que você pensa e só. Tem que ter alguma coisa, pronto.

A ideia de um tipo de hierarquia relacionada à provisoriedade ou não é notada na fala desse aluno quando ele afirma que "lei prevalece, enquanto a teoria um pouco menos". Já os indivíduos D e A, respectivamente, sinalizaram a existência de hierarquia no sentido de complexidade: "teoria é um sistema de proposições sobre o mundo [...] incluindo aí lei, modelos"; "uma teoria seria mais ampla, ela traria um conjunto de leis que iam formar um pensamento teórico daquela área".

Esse último (A), quando questionado sobre a existência de hierarquia, disse ter ficado "meio confuso" e explicou: "a lei ela iria descrever um fenômeno mais pontual já a teoria iria descrever um conjunto mais abrangente a partir de um pequeno grupo de leis [...]. A lei seria um caso assim, mas simples e você tenta levar para um caso mais geral".

Apresentando a concepção de que não há hierarquia, o aluno C respondeu de modo ainda vago: "a teoria [...] para tentar explicar, para tentar entender. [...] a teoria estuda aquele determinado fenômeno".

Provisoriedade do conhecimento

Todos os entrevistados negaram a possibilidade de se provar uma teoria, ao serem questionados a esse respeito. A maneira como tal visão foi justificada variou entre os entrevistados.

O indivíduo C afirmou que uma teoria científica pode ser "corroborada com determinadas situações, mas provada não". Os indivíduos A e B, simplesmente, responderam que não se pode provar, porque a ciência é "provisória" (B), "passível de mudanças" (A). Esse último (A) acrescentou ainda que "a questão do provar estava intimamente relacionado ao método científico". Caindo a crença na ideia de método científico, caia juntamente a convicção de se provar algo.

O indivíduo D, espontaneamente, afirmou ter mudado de opinião acerca desse assunto graças à disciplina de HFC. No início do semestre, considerava que o conhecimento científico era provado, mas, ao longo da disciplina foi levado à seguinte reflexão: "O que é esse provado?". Assim, passou a conceber que é impossível provar porque não há garantia de que certo resultado de um experimento seja obtido em outra ocasião.

Já o indivíduo E, embora tenha afirmado que uma teoria não pode ser provada, justificou prontamente essa condição de tal maneira a afastar-se das concepções de NdC atualmente aceitas: "a natureza muda". Novamente, foi questionado pelo entrevistador que tentava compreender o sentido daquela afirmação: "Mas a natureza muda ou a ideia que a gente tem da natureza muda ou as duas?". E, na ocasião, ratificou: "Não, a natureza muda, a gente apenas tenta descrever o que está acontecendo, não é?". O mesmo indivíduo finalizou em seguida a entrevista com um estranho comentário: "É a natureza que obedece a física e não o contrário".

Diante do questionamento sobre se há progresso ou não na ciência, tendo em vista não sabermos se estamos atingindo a verdade, os indivíduos A, B e D mostraram-se confusos e não conseguiram justificar porque consideram que a ciência está em evolução. Já o indivíduo E, adepto da mesma visão, justificou que os modelos atuais são melhores dos que o do passado, porque descrevem mais fenômenos. O indivíduo C, quando questionado sobre se o conhecimento do presente é melhor do que o do passado, definiu-se como "adepto da incomensurabilidade". Para ele, a

nossa percepção de universo e concepção de física hoje seriam diferentes da do passado, não sendo possível falar em progresso.

Demarcação entre ciência e não-ciência

As visões sobre a questão da demarcação variaram entre os estudantes, os quais, em geral, demonstraram dificuldade em seus comentários. O único a afirmar que não há separação foi o aluno D: tudo pode ser considerado ciência.

Para o aluno B, haveria diferença entre a ciência e a não-ciência (citou o estudo de fenômenos paranormais): "[...] eu não sei exemplificar muito bem [...]. Mas eu acho que tem diferença. Eu acho". O aluno C também demonstrou dificuldade para discutir acerca da questão da demarcação. Para esse aluno, se determinados conhecimentos são ditos científicos e outros não, "deve haver critérios" para separá-los, embora ele não consiga identificá-los.

O aluno E também demonstrou dificuldade para responder a essa questão. Afirmou que não há critérios para separar ciência de outras formas de conhecimento, e que os conhecimentos indígenas seriam ciência. Por outro lado, acrescentou que astrologia não é ciência pela falta de fundamento, porque não pode ser "provado se é verdade ou mentira".

Já o aluno A, em oposição, afirmou que o conhecimento indígena não seria científico por não ser reconhecido como tal. Segundo esse aluno, embora não se possa de fato "prová-lo", o conhecimento científico é aquele que a sociedade considera "provado", "documentado". O critério sugerido pelo estudante parece ser o aval da sociedade, a aceitação por um grupo extenso.

Considerações finais

Um dos alunos da turma do primeiro semestre de 2010, quando questionados sobre a contribuição da disciplina de HFC para a visão de ciência que eles têm hoje, afirmou que a disciplina contribuiu para: desfazer a sua "visão ingênua de ciência benevolente", ressaltar a questão da "cooperação na ciência" e desfazer a impressão de "que as coisas vem do nada". Outro aluno da mesma turma afirmou que a disciplina o ajudou a entender o que é teoria e o que é lei, deixar de lado a ideia de que a ciência segue o método científico, ressaltar a visão de subjetividade da ciência e *quebrar* a ideia de que gênios constroem o conhecimento científico. Nas turmas de HFC do segundo semestre de 2010, foram comuns os comentários dos próprios alunos de que a disciplina desfez a crença no método científico, levou-os a questionar a possibilidade de provar teorias e justificou o porquê de o conhecimento científico ser provisório.

Destacamos, assim, que os alunos passaram a dar importância a essas questões, e demonstram consciência do papel que as discussões tive-

ram no esclarecimento de pontos sobre os quais tinham dificuldades ou sobre os quais demonstravam uma certeza inicial *inadequada*, que precisou ser abalada.

À parte a esse reconhecimento dos próprios alunos, de modo geral, como parecem mostrar os resultados empíricos, as discussões promovidas em aula contribuíram para certas mudanças positivas nas visões de NdC desses alunos.[4]

Houve mudanças no que diz respeito à compreensão de que os cientistas não seguem *o método científico* universal, passo a passo em seu trabalho cotidiano, e de que este não pode ser usado como critério de demarcação entre ciência e não-ciência. Houve também mudanças significativas no que diz respeito à compreensão dos objetivos da ciência. Por outro lado, notou-se que a questão da provisoriedade do conhecimento permanece ainda atrelada à visão de que a ciência aproxima-se cada vez mais da verdade.

Existe o entendimento de que a ciência é influenciada por fatores extracientíficos, mas permanece, de certo modo, a visão de um ideal de neutralidade a ser atingido. A diferenciação entre leis e teorias científicas continua sendo uma das questões mais difíceis para os estudantes. E, nesse sentido, o trabalho realizado ainda não atingiu os objetivos pretendidos.

Apesar dessas dificuldades, de modo geral, os resultados retratam que essa é uma iniciativa válida e que deve ser enfatizada nos cursos de graduação para que o *enraizamento* de determinadas visões seja evitado.

Referências

ANDRADE, C. S. *Concepções de alunos do curso de pedagogia da UFRN acerca da natureza da ciência:* subsídios à formação de professores. Dissertação. 2008. (Mestrado em Educação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo.* Lisboa: Edições 70, 2004.

CLOUGH, M. P.; OLSON, J. K. Teaching and assessing the nature of science; an introduction. *Science & Education.* n. 17, p. 143-145. 2008.

EL-HANI, C. N.; FREIRE JUNIOR, O.; TEIXEIRA, E. S. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. Ciência e Educação. v. 15, n. 3, p. 529-556. 2009.

[4] Resultados semelhantes em pesquisas com futuros professores de Física são relatados por Massoni e Moreira (2007) ; EL-Hani *et alii*, (2009).

FERREIRA, J. M. H.; MARTINS, A. F.; DANTAS, T. R. R.; SANTOS, J. L. dos; MOREIRA, E. P. *Formandos em Física e a Natureza da Ciência*. XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. p. 1-12. Águas de Lindóia, 2010.

HARRES, J. B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a Natureza da Ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências.* v. 4, n. 3, p. 197-211. 1999.

LABURU, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Os programas de pesquisa de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. *Ciência e Educação,* v. 5, n. 2, p. 23-38, 1998.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present and future. In: Abell, S.K.; Lederman, N. G. (Eds.). *Handbook of research on science education.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-879, 2006.

LEDERMAN, N. G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of research in Science Teaching.* v. 4, n. 29, p. 331–359. 1992.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de Histórica e Epistemologia da Física para futuros professores de física. *Investigações em Ensino de Ciências.* v. 12, n. 1. 2007.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física,* v. 12, n. 3, p. 164-214. 1995.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the Nature of Science. *Science & Education,* v. 17, p. 249-263. 2008.

MCCOMAS, W. F., ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The Nature of Science in Science Education: An introduction. *Science & Education,* v. 7, p. 511-532. 1998.

MOREIRA, M. A.; OSTERMAN, F. Sobre o ensino do Método Científico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física, v*. 10, n. 2: p. 108-117, ago. 1993.

OLIVEIRA, W. C.; FERREIRA, J. M. H. Licenciandos em física e a natureza da ciência. In: Anais do XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Foz do Iguaçu, 2011a.

OLIVEIRA, W. C.; FERREIRA, J. M. H. Natureza da Ciência e Atividades Experimentais: formação continuada de tutores para a licenciatura em

Física- modalidade EaD, In: XXVIII Encontro de Físicos do Norte Nordeste, Mossoró, 2011b.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física:* conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001. p. 151-170.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.VILCHES, A. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência e Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156. 2007.

TERRA, P. O Ensino de Ciências e o Professor Anarquista Metodológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 19, n. 2, p. 208-218, ago. 2002.

UM MÓDULO SOBRE A RADIOATIVIDADE: SUA HISTÓRIA E SUA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Capítulo 7

Marinês Domingues Cordeiro
Luiz O. Q. Peduzzi

Introdução

A filosofia da ciência tem mostrado, especialmente desde a década de 1960, a variedade generosa de ângulos a partir dos quais se pode observar e interpretar a atividade científica. Os aspectos são tantos, que não se pode esperar que um livro didático direcionado a disciplinas de Física, cujo objetivo primordial é o de ensinar conceitos e fenômenos, tenha também a plena capacidade de explorar muitas vertentes epistemológicas e fornecer ao aluno uma compreensão aprofundada do debate que se processa na área da Filosofia da Ciência.

Não obstante, há pelo menos duas décadas, acredita-se que um ensino conceitual sólido precisa ser complementado com discussões de caráter histórico-epistemológico, por uma série de motivos (MATTHEWS, 1992; GIL-PÉREZ et al., 2001).

Pode parecer dissonante, mas, na realidade, não é. A despeito do largo espectro de interpretações da atividade científica, conceituados filósofos concordam sobre diversos aspectos da investigação científica. Em um trabalho de 2001, Gil-Pérez e colaboradores mapearam sete ideias sobre essa atividade que não condizem com as teorias mais atuais da Filosofia da Ciência.

Desse modo, parece que a variedade de interpretações epistemológicas pode ficar essencialmente restrita a elas, o que de certo modo permite sua inserção dentro das salas de aula de ciências, mas, embora essas sete imagens distorcidas sejam amplamente divulgadas em periódicos e reuniões científicas, elas mostram-se ainda enraizadas no imaginário dos professores, seja por desconhecimento (falta de acesso à informação) ou por resistência.

Centrando-se então esse problema na variável professor, onde se pode encontrar a fonte dessas interpretações equivocadas? Não raro, atribui-se essa falta aos livros didáticos que, inegavelmente, constituem-se na principal fonte de informação do professor em serviço. Essas obras são elaboradas para satisfazer uma demanda – a de se ensinar Física – e, para tanto, reorganizam os conhecimentos de maneira a criar uma estrutura lógica e acumulativa, supostamente, de fácil apreensão por parte dos alunos, mas que pode, implicitamente, propagar algumas concepções equivocadas sobre a ciência. Chevallard (1991) faz a mais conhecida análise dessas reorganizações, que constituem etapa externa da Transposição Didática.

Então, com essa mudança de perspectiva, parece que se encontra a origem principal do problema: as transformações sofridas pelos conhecimentos – ou saberes, como denominou Chevallard (1991) – para constar no livro didático, mas essa primeira avaliação esconde a outra dimensão da Transposição Didática, que também é bem descrita pelo didata francês: a transposição didática interna.

Nessa fase do processo de ensino, três são os atores fundamentais: o saber, o professor e o aluno. Se ao livro didático for atribuída toda a responsabilidade de veículo do saber, o professor assume, invariavelmente, a função de mero mediador da relação do aluno com o conhecimento incontestável oferecido pela obra. Aqui se encontra a excessiva simplicidade de se imputar a culpa da propagação de imagens equivocadas do trabalho científico unicamente à disposição dos conhecimentos nos livros didáticos.

Deve-se, nesse caso, voltar atenções aos professores. Eles não atuam como meros mediadores do processo de ensino aprendizagem; eles próprios são fontes de conhecimento na sala de aula. Passaram por formação específica para a atividade docente, o que os qualifica como atores do processo de ensino-aprendizagem. Deles espera-se a capacidade de avaliar e criticar o que, por ventura, não for adequado no livro didático – tanto em termos estritamente conceituais, quanto em termos históricos e filosóficos.

Essa capacidade depende de conhecimentos sólidos, que o professor deve adquirir durante sua formação e depois dela, no exercício diário de atualização de seus saberes. Para conseguir distinguir as transformações sofridas pelos conceitos físicos constantes no livro didático, assim como reconhecer aspectos da filosofia da ciência, é essencial que o professor em formação conheça, também, a história da física. E o espaço que ela tem nos cursos de física, em geral, é em disciplinas de evolução ou história dos conceitos e afins. No Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, há uma disciplina sobre a história da física, cursada compulsoriamente e em conjunto por alunos da licenciatura e do bacharelado, ao final de sua formação.

O presente trabalho descreve e avalia um módulo de ensino sobre os primeiros anos da história da radioatividade, implementado nessa disciplina. Constituído de três aulas, em que foram expostas a história desse fenômeno, discutidas questões epistemológicas centradas nas características do trabalho científico, apresentadas por Gil-Pérez et al. (2001) e analisada a transposição didática da radioatividade em Eisberg e Resnick (1979), esse módulo culminou com a proposta de um exercício aos alunos: uma análise da transposição didática da radioatividade presente em Ferraro et al. (2010) – livro didático dirigido ao Ensino Médio.

Ao fim, com a coleta de dados, provinda das observações livres na sala de aula, das questões respondidas textualmente pelos alunos e de entrevistas semiestruturadas, pretende-se responder às seguintes perguntas: em que grau os alunos conseguiram reconhecer a didatização da radioatividade e suas consequências em termos epistemológicos? Eles foram

instrumentalizados satisfatoriamente para agir como atores no processo de ensino de aspectos históricos e da Natureza da Ciência associados a esse fenômeno (e não como meros mediadores)? Que soluções eles conseguiram apontar para as lacunas que, invariavelmente, o livro didático está sujeito a propagar?

A disciplina, os sujeitos de pesquisa e a implementação do módulo

A disciplina Evolução dos Conceitos de Física estrutura-se, basicamente, segundo cinco livros (PEDUZZI; CORDEIRO; NICOLLODELLI, 2011), que abordam um amplo espectro de conceitos e teorias da Física, suas gêneses e seus desenvolvimentos, do nascimento da ciência, com os gregos do século VI a.C., à Física dos *quarks*.

No segundo semestre do ano letivo de 2010, dez alunos cursaram a disciplina, com frequência suficiente. Desses, cinco eram estudantes de bacharelado e cinco de licenciatura. Dentre eles, três cursavam a última fase, e sete tinham formatura prevista para o primeiro semestre de 2011.

O módulo de ensino foi constituído de três textos, que serviram como base para três aulas de dois períodos (1h40min). O fenômeno objeto de estudo desse módulo foi a radioatividade, desde sua gênese, em 1896, até a consolidação da noção de isótopos, que data de 1913.

1ª aula

A primeira aula tratou da história da gênese da radioatividade. Seu texto base é o artigo "As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino" (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010). Ele desenvolve um estudo partindo desses dois registros históricos, em sistemática relação com outros trabalhos clássicos e de historiadores da ciência. O casal Curie foi pioneiro nos estudos da radioatividade, lançando novas interpretações a esse fenômeno, descoberto por Henri Becquerel, em 1896, o que justifica sua posição central no desenvolvimento da aula.

Dentre os trabalhos utilizados para a construção de algumas discussões de cunho histórico e epistemológico, fez-se uso de artigos de renomados historiadores da ciência, como Martins (1990, 1997, 2003, 2005) e Kragh (1997, 2000). Um desses trabalhos (MARTINS, 1990), permitiu a debate sobre o significado de atribuir a alguém uma descoberta científica, pois o historiador aponta para o fato de que Becquerel, apesar de ter publicado seus estudos sobre as emissões de urânio, não estabeleceu nenhuma hipótese acerca da natureza atômica daqueles *raios*, fato feito apenas por Madame Curie, dois anos após as primeiras publicações sobre o assunto, na França.

Convidou-se também o aluno a pensar, com base em outra polêmica levantada por Martins (2005), sobre os fatores influenciadores na atribuição do Prêmio Nobel de Química de 1911 a Madame Curie, que, segundo o historiador, foram motivados fortemente por aspectos sociológicos. Quanto aos trabalhos de Kragh (1997, 2000), o texto e a aula dedicaram-se a explorar a dinâmica entre as descobertas envolvidas nas pesquisas iniciais em radioatividade com os incipientes modelos atômicos da época e a noção de elemento químico.

Também foram utilizadas algumas biografias de Marie Curie (CURIE, 1962; MCGRAYNE, 1995; PASACHOFF, 2009) para explorar o envolvimento pessoal do casal com a ciência que desenvolveram. São notáveis os exemplos expostos por essas obras de superação do casal ante os mais diversos obstáculos para a continuidade de seus estudos. Além disso, sendo a família Curie a mais laureada com Prêmios Nobel, intencionou-se explorar esse aspecto para a atração dos alunos ao tema.

Em termos epistemológicos, procurou-se fazer um contraste entre o discurso de ambos os físicos com certas imagens equivocadas do trabalho científico, estudadas por Gil-Pérez et al. (2001), em consonância com os objetivos do presente estudo. Assim, como um dos grandes objetivos dessa aula, passagens das Conferências Nobel foram utilizadas como fortes contraexemplos a concepções de ciência fortemente enraizadas no ideal empírico-indutivista.

2ª aula

Assim como na primeira aula, o artigo *Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade* (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011a) constou como leitura prévia compulsória para os alunos. A metodologia de exposição e discussão do conteúdo foi semelhante a da aula anterior.

Na aula, dedicaram-se esforços para explorar as pesquisas de cientistas que consolidaram a radioatividade – e, dentre eles, especialmente, a figura de Ernest Rutherford.

Assim, com o auxílio de trabalhos clássicos dos cientistas envolvidos nesse período, como Rutherford e Soddy (1903), Geiger e Marsden (1909), Rutherford (1909; 1966) e Soddy (1966), foram mostrados, nas palavras dos próprios físicos e químicos, os experimentos, as conclusões, as hipóteses balizadoras das investigações, as dificuldades com o corpo teórico consolidado e a relação intrínseca entre as pesquisas com radioatividade e a construção do modelo atômico nuclear.

Como fontes de discussões epistemológicas, fez-se dialogar esse estudo histórico com as cinco características do empreendimento científico, mapeadas por Gil-Pérez et al. (2001). Assim, discutiram-se, com a devida profundidade, noções como a busca pela coerência global, a investigação

do pensamento divergente, a pluralidade de métodos científicos, a forte dinâmica de influências entre ciência, tecnologia e sociedade e a inexistência de dados puros.

Centrando no trabalho de Freedman (1979), sobre as motivações sociais e industriais de Soddy para seus estudos e descoberta da isotopia, os alunos foram convidados a debater quanto ao grau de influência da esfera tecnológica na atividade científica e os efeitos dessas exigências no conhecimento produzido.

3ª aula

Com base no texto *Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade* (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011b), fez-se uso dos conhecimentos históricos e das discussões de cunho epistemológico das duas aulas anteriores para a análise de um segmento de um livro largamente utilizado em disciplinas de Estrutura da Matéria e afins dos cursos de Física brasileiros.

Foram discutidos aspectos da Transposição Didática, de Chevallard (1991), uma análise que permite a compreensão e identificação de certos processos transformadores operados sobre o conhecimento científico para que se torne ensinável. Dentre as transformações reconhecidas e listadas pelo didata francês, três em especial foram abordadas durante a aula: a descontextualização histórica, a despersonalização e a dessincretização. O livro didático é recorrentemente produto dessas transformações.

Após essa primeira exposição, utilizou-se o livro *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos núcleos e partículas* (EISBERG; RESNICK, 1979) como objeto de análise, sendo dele tomados os conteúdos de radioatividade e outros conceitos e fenômenos que, de acordo com as duas primeiras aulas, estiveram, fortemente, ligados a ela em seu momento histórico de gênese e desenvolvimento. Consequentemente, os capítulos e seções sobre radiações X, modelos atômicos (de Thomson a Rutherford) e Física Nuclear, além da própria radioatividade e emissões alfa e beta, foram o alvo primário da aula.

A ideia central dessa etapa do módulo foi mostrar aos alunos onde há descontextualizações (históricas e conceituais) e despersonalizações no texto de Eisberg e Resnick (1979). Esclareceu-se, por meio dos conhecimentos da história daquela ciência, que a ordem proposta pelo livro didático é de natureza distinta da ordem cronológica de descobertas e pesquisas daquele momento histórico. Observou-se a forte despersonalização de certos conhecimentos científicos, apontando-se personagens às quais o livro faz rara menção (ou, simplesmente, não faz).

A opção de Eisberg e Resnick (1979) por utilizar a História da Ciência como introdução para certos capítulos também evidencia alguns exemplos de descontextualização histórica, onde os fatores que historicamente

motivaram as pesquisas, o corpo de conhecimento prévio e o contexto científico da época são omitidos, acentuando uma simplificação de certas descobertas.

Com base nessa análise, discutiu-se sobre algumas concepções acerca da ciência que a leitura pura e simples do livro pode propagar, como as imagens ateórica, analítica, individualista, socialmente neutra, a-histórica, acumulativa e algorítmica (GIL-PÉREZ et al., 2001). Foram debatidas as dificuldades de redação de um livro didático, a atribuição (equivocada) ao livro-texto como único meio do conhecimento e as possibilidades de se lidar com os efeitos colaterais de seu discurso, atribuindo ao professor, com conhecimentos relevantes, um papel importante nesse cenário.

Avaliação

A avaliação das atividades deu-se nos marcos de uma pesquisa qualitativa, com o interesse dirigido nos processos e produtos centrados no sujeito, em que foram averiguados seus comportamentos e percepções (TRIVIÑOS, 1987). Para esse fim, foram utilizadas três técnicas de coleta de dados ou materiais: a observação livre, feita nas aulas dos módulos, o conjunto de questões e, por fim, e com o auxílio desses dois primeiros, as entrevistas semiestruturadas.

a) Observações livres: materiais coletados

Como as três aulas do módulo foram ministradas pelo primeiro autor deste artigo, sua posição nesta pesquisa pode ser caracterizada como a de pesquisador observador. As dificuldades inerentes a esse tipo de papel, como divisões internas do grupo, marginalização do pesquisador ou sua necessidade de envolvimento pessoal na vida do grupo (LOFLAND, apud TRIVIÑOS, 1987), foram, de certa forma, minimizadas.

Os fatores que contribuíram para tal atenuante podem ser creditados à pequena população pesquisada e à posição da professora-pesquisadora, de aluna de mestrado, licenciada em Física, de faixa etária similar à dos alunos-sujeitos da pesquisa. As observações feitas em grande grupo propiciaram uma perspectiva geral do envolvimento dos alunos com a unidade de ensino, no entanto, observações de cunho idiossincrático também foram feitas, e serão mais amplamente exploradas na seção de análise dos dados e materiais coletados.

b) Conjunto de questões

Para efeitos de uma avaliação dos conhecimentos assimilados pelos alunos nas aulas do módulo, propôs-se a eles uma atividade similar à realizada na terceira aula do módulo: o reconhecimento de processos sofridos pelo fenômeno da radioatividade (e correlatos historicamente)

para se tornar conhecimento didático, no livro *Física, Ciência e Tecnologia,* de Ferraro et al. (2010). Quatro perguntas orientaram as incursões dos alunos por esse texto.

1) Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto?
2) Que traços de (des)contextualização histórica há no material?
3) Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos?
4) Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga? Corrobore com trechos.

O livro em questão é um dos textos aprovados pela Portaria nº 336, de 31 de janeiro de 2006, do Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), fator que aponta para sua qualidade na abordagem dos conteúdos. Além disso, essa obra contém uma grande unidade de Física Moderna, em capítulos que tratam da Mecânica Quântica, da Relatividade e da Física Nuclear e de partículas, o que permite sua análise em termos da história da radioatividade, objeto do módulo de ensino.

Aos alunos foi entregue uma carta de apresentação da atividade, juntamente com cópias da capa, da ficha catalográfica e dos capítulos e seções relacionados historicamente com as pesquisas em radioatividade.

Assim, os participantes receberam as seções de raios X e raios gama, contidas no capítulo intitulado *Onda eletromagnéticas* (FERRARO et al., 2010, p. 519) e as seções de introdução, de núcleo atômico, radioatividade e lei radioativa, contidas no capítulo denominado *Física Nuclear* (FERRARO et al., 2010, p. 630). Além desse material, foi também entregue o sumário dos capítulos designados pelos autores para parte do terceiro ano do Ensino Médio. Foi estipulado um prazo de três semanas para a resposta dessas questões, cuja nota teve peso na média geral da disciplina.

c) Entrevistas semiestruturadas

As entrevistas semiestruturadas ativeram-se às idiossincrasias dos estudantes, identificadas a partir das observações realizadas em aula e de uma primeira análise das respostas ao exercício proposto.

A todos os alunos foram feitas duas perguntas básicas, de natureza distinta.

1) Em geral, você observou as diversas transformações passadas pelos conhecimentos relativos à radioatividade para que fossem objetos do livro escolar. Em que grau você acredita ter sido esse exercício um facilitador para o reconhecimento de processos de didatização?
2) Reconhecendo as lacunas que existem no livro didático, que sugestões você faria para amenizá-las em sala de aula?

Além dessas duas perguntas de caráter mais geral, alguns alunos responderam a algumas questões singulares, construídas com base nas observações feitas em sala de aula e nas respostas dadas no conjunto de questões.

Interpretação dos dados e materiais

Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto?

Ferraro et al. (2010) tratam os raios X e os raios gama como seções de um capítulo em comum, destinado a abordar ondas eletromagnéticas. Embora essa opção faça sentido para uma abordagem estritamente conceitual, ela é fruto de uma ressincretização.

Historicamente, sabe-se que a descoberta das emissões de urânio foram consequência da identificação dos raios X, feita poucos meses antes, e da dificuldade de se conhecer sua verdadeira natureza. Além disso, as radiações gama foram observadas primeiramente em 1900, quando os estudos sobre a radioatividade já se consolidavam entre os cientistas, e depois da descoberta das radiações alfa e beta, por Rutherford.

Assim, o contexto conceitual de origem dos raios X e gama está, intrinsecamente, ligado às pesquisas iniciais em radioatividade, mas que, em Ferraro et al. (2010), estão separados por três capítulos. Cinco estudantes (D, E, F, H e I) observaram essa distância entre os tópicos.

A opção dos autores de introduzir a seção esclarecendo a natureza dessas radiações, mencionando serem ondas eletromagnéticas – posicionando-as, inclusive, no espectro eletromagnético – produzidas "pela oscilação de elétrons das camadas mais internas dos átomos ou quando partículas eletrizadas altamente energizadas – elétrons em alta velocidade – colidem com outras cargas elétricas ou com átomos de um alvo metálico" (FERRARO et al., 2001, p. 538), foi uma das características de ressincretização mais descritas pelos alunos.

Os estudantes A, B, E e G apontaram para a utilização do modelo de Bohr, de 1913, para a explicação da radiação X, descoberta em 1895. Em especial, os alunos B e G citam, além disso, a menção ao elétron, identificado por Thomson em 1897. Os estudantes C e H indicam ainda a identificação das radiações X como ondas eletromagnéticas como um efeito de ressincretização, para isso discorrendo sobre sua natureza desconhecida no momento da descoberta – que justifica a nomenclatura escolhida por Röntgen, ao batizá-las de *raios X*.

Não há incoerência de Ferraro et al. (2010) na escolha da abordagem ressincretizada, dado que o objetivo do livro é o ensino de conceitos, da maneira como são atualmente conhecidos. Entretanto, os autores também fazem a opção de contar a história dessa descoberta, logo após sua explicação conceitual.

Assim, seria necessário mencionar o contexto científico da época, valorizando o caráter avassalador dessa descoberta para a Física Clássica. E, de maneira ainda mais importante, seria possível ressaltar a relevância da descoberta dos raios X para a descoberta da radioatividade, transparecendo

a fertilidade dos fenômenos físicos, um dos valores significativos na Filosofia da Ciência. O estudante C (e também o H) aponta para essa omissão.

> Como o próprio nome indica, a natureza dos raios X era desconhecida, e é justamente a busca pelo seu entendimento que acaba por abrir novos campos de pesquisa, que culminariam só mais tarde estabelecendo o que são esses raios e como se originam. Os diversos empreendimentos científicos que se seguiram após a descoberta dos raios X culminariam também por contribuir para formar nosso entendimento atual sobre os átomos e seus constituintes. (ALUNO C).[1]

Na disposição do livro analisado, a seção sobre raios gama segue a seção sobre raios X. A escolha, novamente, é *natural* e está em ressonância com o objetivo do texto, considerando-se que ambas as radiações têm natureza eletromagnética.

Os autores optam por iniciar a seção com uma recapitulação histórica, que faz menção à radioatividade implicitamente, atribuindo natureza eletromagnética aos raios gama. Exemplificam sua obtenção por meio de uma reação nuclear e, por fim, descrevem sua utilização na medicina.

Seis alunos (A, B, E, F, G e H) observaram o sinal do processo de ressincretização na explicação da emissão da radiação gama, auxiliada pelo modelo atômico nuclear. Desses seis, cinco (A, E, F e G) apontaram para o exemplo (FERRARO et al., 2010, p. 542) escolhido pelos autores de uma emissão gama, no processo de fissão nuclear. Todos os cinco lembraram-se de que esse é um fenômeno que, no livro, somente é tratado no fim do capítulo 19 – distante em aproximadamente cem páginas.

Os alunos A, E e F ainda mencionam a presença do nêutron no exemplo, partícula descoberta somente em 1932 e que, portanto, não fazia parte do contexto conceitual de origem da descoberta das radiações gama. Esses três alunos ainda apontam para um problema latente na ressincretização operada pelos autores do livro didático, ao utilizarem termos e conceitos ainda não explorados no próprio corpo do livro, sem prover uma explicação ao menos superficial para eles.

Ainda na seção sobre raios gama, dois alunos (D e G) mencionam a descrição da partícula alfa como um núcleo de Hélio como um problema não apenas de ordem cronológica, mas também epistemológica.

> Logo no início do texto sobre raios gama, os autores falam sobre como as partículas alfa são, na verdade, núcleos de hélio, induzindo o aluno a pensar que já se conhecia o modelo nuclear nesta época, quando, na verdade, as partículas alfa tiveram um importantíssimo papel no desenvolvimento do modelo nuclear do átomo. (ALUNO D).[2]

[1] Conjunto de questões.
[2] Conjunto de questões.

As opções não cronológicas continuam nas outras seções analisadas do livro. No capítulo 19, Ferraro et al. (2010) apresentam, primeiramente, um modelo atômico de Bohr-Rutherford para, então, introduzir a radioatividade, os decaimentos alfa e beta e a lei radioativa. Tomando-se a História da Ciência como referência, a ordem dos conceitos seria completamente diferente: a radioatividade foi descoberta em 1896, a taxa de decaimento foi enunciada em 1900, por Rutherford. As radiações alfa e beta foram classificadas em 1899, no entanto, a compreensão dos decaimentos alfa e beta decorrem de longas pesquisas sobre a teoria da desintegração dos elementos e da compreensão de identidades químicas de produtos radioativos.

Assim, pode-se inferir que o discurso dessas seções do livro são frutos do processo de ressincretização. Sete alunos atentaram para essa transformação – A, C, D, E, F, G e H. Como o aluno C explicita, não é apenas uma relação cronológica que muda, mas também toda a estrutura de construção da noção de núcleo atômico, que é produto direto das pesquisas em emissões radioativas.

> O índice dos capítulos apresentando a estrutura do livro mostra que os autores escolheram apresentar primeiramente o núcleo atômico para depois dedicar o capítulo seguinte à radioatividade. Historicamente, foram as pesquisas com as emissões radioativas com pioneiros como Becquerel e o casal Curie que abriram os caminhos que levaram à descoberta do núcleo atômico. (ALUNO C).[3]

Para explicar as emissões radioativas à maneira como são compreendidas atualmente, são necessários conceitos e termos que, na origem e no desenvolvimento da radioatividade, ainda não haviam sido concebidos. Além do já citado nêutron, os alunos observaram a utilização de conceitos como fóton (estudantes B, G, H e I), número atômico (B e H), pósitron (G, H e F), neutrino (H e D) e anti-neutrino (H e D).

Alguns exemplos de ressincretização poderiam ter sido observados com a simples análise do sumário fornecido, mas passaram despercebidos entre todos os dez estudantes: a utilização da equivalência massa-energia (proposta no capítulo anterior, que aborda a teoria da relatividade) para o balanceamento dos decaimentos nucleares,4 e a abordagem de taxa de decaimento radioativo, no fim das seções destinadas à radioatividade.

Uma ordem didática que respeitasse a cronologia dos fatos, ou uma abordagem realmente histórica, organizaria o capítulo de Física Atômica da seguinte maneira: a descoberta da radioatividade, classificação das radiações, enunciação da taxa de decaimento radioativo, teoria da desintegração dos elementos, modelo atômico nuclear e isótopos. Certamente,

[3] Conjunto de questões.

[4] Apesar de a famosa equação ter sido proposta por Einstein em 1905, esse conceito de equivalência não pertencia à esfera conceitual em que se desenvolviam as pesquisas sobre radioatividade. Muito dessa área, tanto na Física quanto na Química, foi desenvolvida sem a compreensão clara da fonte das altas energias emitidas nos processos de desintegração atômica.

para os objetivos de ensino, majoritariamente, conceitual, essa ordem não auxiliaria na organização lógica do conteúdo.

Fica caracterizado que as partes dos capítulos 15 e 19 analisados aqui são produtos de dessincretizações seguidas de uma grande ressincretização. Pode-se concluir, a partir dos exemplos, trechos e justificativas dos estudantes participantes dessa pesquisa que eles conseguiram compreender bem as diferenças entre as organizações histórica e didática.

Que traços de (des)contextualização histórica há no material?

As ressincretizações mais notadas pelos alunos (da distância entre a seção de radiação gama e o capítulo de Física Nuclear, e a apresentação do modelo atômico nuclear antes da radioatividade) foram defendidas pelos alunos A, E e G como uma descontextualização histórica. Os mesmos três alunos, e também o estudante H, apontam ainda para o que o aluno G denominou de *miscelânea histórica* feita pelos autores na seção sobre raios gama.

Ferraro et al. (2010, p. 541), mesmo optando pela ressincretização do tema, posicionando-o no capítulo de radiações eletromagnéticas, tentam contextualizá-lo historicamente. Dessa maneira, tiveram que citar as pesquisas iniciais em radioatividade e também as radiações alfa e beta, para isso utilizando concepções que, na época, não eram conhecidas, como a de um modelo atômico nuclear, e mencionando que era claro que essas partículas eram emitidas de dentro do átomo.

Esses estudantes notaram que, ao trazer, em um relato histórico, conceitos que não pertenciam àquele momento, os autores, de certa forma, descontextualizaram, historicamente, o tema.

> Na seção de raios gama o autor coloca que para a época de Rutherford ele coloca [sic] como sendo lógico que os raios alfa e beta eram constituídos por partes do átomo o que não é correto afirmar, pois a ideia de que o átomo era divisível e mutável foi de difícil aceitação para a época. (ALUNO E).[5]

De modo recorrente, o texto associa, historicamente, as pesquisas em radioatividade a modelos nucleares consolidados. Os alunos E e G lembram-se de que não era lógico assumir serem as partículas alfa e beta subatômicas, e que a busca pela natureza da partícula alfa só terminou em 1908, nove anos após a primeira classificação de Rutherford, por ele e seu aluno, Thomas Royds.

Na seção sobre o núcleo atômico, os autores fazem uma recapitulação histórica superficial do experimento de espalhamento de partículas alfa, que resultou na proposta de um modelo atômico nuclear. Segundo o aluno

[5] Conjunto de questões.

D, o discurso do livro defende que o experimento mostrava que o "núcleo dos átomos pode ser considerado como uma carga positiva pontual" (FERRARO et al., 2010, p. 632), quando, na realidade, o experimento mostrava, em primeiro lugar, a existência de um núcleo atômico, uma ideia bastante controversa na época.

A sistemática explicação de fenômenos como a radioatividade e conceitos como a isotopia ou a meia-vida com o auxílio do modelo atômico nuclear composto de prótons e nêutrons – uma ressincretização – é muito importante no ensino conceitual, como é o caso do livro e de seu objetivo, entretanto, ao incorrer pela história de tais conceitos e fenômenos, a mais simples menção da existência de um núcleo – quiçá de partículas como o próton e o nêutron – traz consigo problemas na compreensão de suas evoluções. É nesse sentido que o aluno C aponta para a seção dedicada à meia-vida, que utiliza a história (incorreta) da enunciação do conceito associada a um modelo atômico nuclear.

A atribuição incorreta da enunciação do conceito de meia-vida ao casal Curie (FERRARO et al., 2010, p. 637) – que, na realidade, foi feita por Rutherford, em 1900 – foi observada pelo aluno G. Em geral, ainda, muitos dos relatos históricos presentes no livro falham em mencionar o casal, e isso foi apontado pelos alunos D e H. Este último, diferentemente dos seus colegas, citou diversos trechos em que os autores não escolheram utilizar a história da ciência, como na descrição dos decaimentos alfa e beta, considerando esse fato um sinal de descontextualização histórica.

Dentre os sinais de descontextualização que os alunos falharam em mencionar, pode-se citar a não relação, nos relatos históricos providos pelo livro, da importância das pesquisas em radiações X para a descoberta da radioatividade.

Como os autores recorrentemente optaram por utilizar passagens históricas, essa relação muito importante poderia ter sido mencionada em dois casos: na seção de radiações gama, em que essa poderia ser a conexão entre ela e a seção anterior, sobre os raios X, e no início do capítulo 19, quando os autores descrevem as pesquisas de Becquerel, em que se poderia mencionar que aquilo que o físico francês procurava eram radiações análogas aos raios X. Essa segunda menção ajudaria a alterar outro problema histórico presente no discurso do livro, quando os autores afirmam que Becquerel notou a distinção dos raios que descobrira.

As sistemáticas tentativas dos autores de promover algumas contextualizações históricas mostram uma intenção provável de adequação a certas orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2002), que, dentre outras coisas, sugerem que o conhecimento da História da Ciência também seja objeto das aulas de ciências.

Por isso, e apesar de alguns equívocos historiográficos, não se pode dizer que a obra é descontextualizada historicamente, ou negar o valor de seus ensaios. Entre os alunos, o único a registrar explicitamente as inserções de História da Ciência como uma tentativa de contextualização histórica foi

o aluno I, que apontou, especificamente, para a introdução do capítulo 19, no qual se faz referência aos trabalhos de Becquerel como não apenas os primeiros da radioatividade, mas também como de toda a Física Nuclear.

Basicamente, os alunos mostraram inclinação em tomar episódios históricos narrados pelo livro e apontar para os anacronismos neles presentes, como descontextualizações históricas, todavia, a opção do aluno H, em salientar os momentos nos quais nenhuma história é escrita também é um resultado de sua compreensão desse tipo de descontextualização.

O espectro variado de exemplos citados pelos alunos é um resultado diferente daquele obtido na análise das ilustrações das ressincretizações por eles fornecidas, em que muitos alunos notaram os mesmo traços. Esse resultado mostra, no caso das descontextualizações históricas, dois efeitos na aprendizagem dos alunos: a fixação em certos momentos históricos específicos, frutos das duas primeiras aulas do módulo, e a dificuldade de diferenciação entre dessincretização e descontextualização histórica, que foram objetos da terceira aula.

Sobre a diferenciação entre dessincretização e descontextualização histórica

A menor variedade de exemplos fornecidos pelos alunos de descontextualização histórica pode ser também abordada a partir de outro dado: o número de alunos que não conseguiu distinguir descontextualização histórica de dessincretização. Os estudantes A, E e I demonstraram essa dificuldade, ao propor exemplos de dessincretização na questão que pedia por ilustrações de descontextualização histórica.

Com a intenção de sondar mais profundamente essa dificuldade, esses alunos foram questionados sobre suas concepções acerca de cada um desses dois processos, na entrevista.

> [Dessincretização] seria meio que um erro conceitual, [...] explicar algo [do jeito] errado. Não errado, mas meio que deformado do conceito e não histórico. [...] [Descontextualização histórica] É meio que sair da ordem também. Dar uma introdução histórica, daí já citar algo que foi descoberto depois, ou usar termos futuros à época de que se está falando. (ALUNO A).[6]

O aluno A sabe conceituar descontextualização histórica, entretanto demonstrou uma dificuldade latente em recobrar o termo dessincretização. O mesmo aconteceu com o aluno B, que, quando questionado sobre sua concepção de dessincretização (ou descontextualização conceitual), preferiu não responder à pergunta. Interessantemente, quando perguntado sobre sua concepção de descontextualização histórica, respondeu:

[6] Entrevista.

> É quando se troca a ordem das coisas, ou quando se coloca uma ideia fora de seu tempo, como colocar a ideia de átomo [na abordagem da radioatividade], na época não se tinha esse conceito. As pessoas não se tocam disso. (ALUNO E).[7]

A resposta provida pelo estudante E descreve, na realidade, dessincretização e ressincretização. Respostas semelhantes foram dadas pelo aluno I, que, questionado primeiramente quanto à descontextualização histórica, descreveu o processo de dessincretização. Quando questionado sobre a dessincretização, imediatamente percebeu que fizera confusão entre dois processos. Assim, perguntou-se qual era, na sua concepção, a diferença entre os dois processos, resposta que ele preferiu não dar.

É importante ressaltar que, apesar da dificuldade de distinção dos termos, os conjuntos de questões dos alunos mencionados apresentaram exemplos dos dois processos. A inclinação dos estudantes E e I em notar e descrever a dessincretização – embora classificando-a de descontextualização histórica – remete a duas possíveis justificativas: a) de que o termo desconhecido seja de difícil compreensão, apesar de conseguirem claramente identificar seu efeito no livro didático; e b) de que a simples organização dos conceitos e fenômenos no livro remeta imediatamente a uma descontextualização histórica, quando os alunos passam a enxergar no livro uma incoerência com a cronologia dos eventos científicos.

Em seu conjunto de questões, o aluno F foi o único a não apresentar exemplos de descontextualização histórica, mesmo respondendo as perguntas separadamente. Ou seja, na resposta à pergunta referente a exemplos de descontextualização histórica, forneceu duas ilustrações que, na realidade, remetiam à ressincretização sofrida pelos conteúdos no livro didático. Quando perguntado sobre sua compreensão de descontextualização histórica, respondeu:

> Talvez duas coisas: quando não tinha a informação do fato ocorrido ou se ele estava errado [...] até pela ordem do texto. Você lia o texto e não dava a sensação que você estava lendo uma coisa que, até pela ordem do texto, nos capítulos anteriores, apresentava coisas que foram descobertas há pouco tempo e, nos capítulos seguintes, falava sobre coisas mais antigas, por exemplo, falar de partículas, primeiro, e depois falar de fótons, que é uma coisa mais antiga e tudo mais. (ALUNO F).[8]

Nota-se que sua primeira ideia, quanto à disposição ou não de fatos históricos, e sobre estarem corretamente narrados, parece mostrar que ele compreende o que é descontextualização histórica, mas, ao continuar, ele começa a descrever o processo de dessincretização. E, quando questionado sobre dessincretização, ele definiu serem erros no texto, e escolheu não continuar explicando.

[7] Entrevista.
[8] Entrevista.

Enfatizam-se aqui as diferenças entre os exemplos e as definições pelo estudante F. Em suas respostas sobre dessincretização no conjunto de questões, ele cita três bons exemplos de conceitos tornados autônomos e reorganizados – definição de dessincretização, por Chevallard (1991) –, e nenhum de erros do livro, como defendeu na entrevista. Em suas respostas sobre descontextualização histórica, ele, novamente, cita casos de dessincretização.

Um caso bastante específico é o do aluno C, que confundiu por completo os dois processos transformadores. No conjunto de questões, propôs exemplos de descontextualização histórica, quando exemplos de dessincretização foram pedidos, e vice-versa. Na entrevista, fez o mesmo, definindo dessincretização, quando perguntado sobre sua concepção de descontextualização (e o contrário).

Os alunos B, D, G e H conseguiram diferenciar, de maneira excelente, os dois processos, fornecendo uma variedade de ótimos exemplos.

Ao contrário de *descontextualização histórica*, termo com que os alunos certamente já se depararam ao menos uma vez em suas vidas, a nomenclatura *dessincretização* foi, no vocabulário dos estudantes do bacharelado, inserida pela primeira vez nesse módulo de ensino. Já os que se habilitam em licenciatura tiveram contato com os termos de Chevallard (1991) na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física A, em que a transposição didática é objeto de estudos.

É notável a inclinação generalizada dos alunos ao reconhecimento dos processos de dessincretização – apesar de não os associarem ao termo. Todos eles citaram ao menos alguma dissonância entre a ordem dos conteúdos do livro e a ordem histórica dos acontecimentos da física. Pode-se considerar esse fato um forte indicador da assimilação da evolução dos conceitos científicos objetos do módulo, dado que os alunos conseguem constatar facilmente esse processo, apesar de terem estudado tais conceitos de maneira marcantemente conteudista nos semestres anteriores de suas formações acadêmicas.

Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos?

Alguns trechos de Ferraro et al. (2010) como nas respostas acerca das dessincretizações, chamaram a atenção da maioria dos estudantes. Sete deles – alunos A, D, E, F, G, H e I – fizeram observações específicas quanto à pouca menção aos trabalhos do casal Curie sobre a radioatividade. É na seção sobre raios gama, no capítulo 15, que os estudantes apontam para tal ausência.

A opção dos autores de ressincretizar o tema, locando-o no capítulo 15, direcionado aos estudos das ondas eletromagnéticas, teve, como produto,

a omissão dessas duas importantes figuras nas pesquisas em radioatividade, fato que não passou despercebido a esses sete alunos.

No livro em geral, e especialmente na seção de raios gama, a história da radioatividade liga-se apenas ao nome de Rutherford. Nessa mesma seção (FERRARO et al., 2010, p. 541), os alunos G e H observam ainda a preferência dos autores por iniciar o relato histórico sobre as primeiras observações das emissões de urânio com o termo *cientistas*, negligenciando importantes personagens como Becquerel e os Curie.

Talvez, a questão não suscitasse tal reação dos alunos houvessem, o descobrimento da radioatividade e suas pesquisas iniciais, sido eventos debatidos por toda a comunidade científica, contudo, durante as aulas, frisou-se repetidamente sobre o fato de que, no início, essas pesquisas não eram do interesse da maior parte dos cientistas, que estavam mais interessados nos raios X.

Por dois anos, os únicos empenhados no assunto pareciam ser os Curie, na França, e Gerhard Schmidt, na Alemanha – que observou que o tório também emitia as mesmas radiações que o urânio, simultânea e independentemente do casal. Mesmo Becquerel parecia ter perdido o interesse no assunto, a julgar por seus comunicados à Academia Francesa de Ciências em 1896 (MARTINS, 1990; CORDEIRO; PEDUZZI, 2010). Assim, não é difícil interpretar a inclinação da grande maioria dos alunos a notar a pouca menção ao casal de físicos.

Ainda nessa seção, dois alunos (C e G) enfatizaram a seguinte passagem:

> O físico neozelandês Ernest Rutherford (1871–1937), realizando experimentos com urânio radioativo, identificou em 1899 dois tipos de radiação: o primeiro foi nomeado raios alfa (α); o segundo, raios beta (β). Um ano mais tarde descobriu-se um terceiro tipo: os raios gama (γ). (FERRARO et al., 2010, p. 541).

Segundo eles, esse trecho evoca um entendimento de que os raios gama também teriam sido descobertos pelo cientista. Mesmo que a descoberta da radiação gama seja citada no impessoal ("descobriu-se"), a conclusão dos alunos é certamente relevante, afinal, nessa passagem, o único sujeito em referência é Rutherford.

Para alunos do Ensino Médio, é possível a conclusão de que Rutherford também os tenha identificado. Paul Villard, físico francês, foi o primeiro a observar tal radiação, e isso é citado por C e G, entretanto, não apenas Rutherford e Villard notaram as idiossincrasias de cada radiação. Os Curie e, principalmente, Becquerel, observaram características específicas das radiações alfa e beta, como seus comportamentos diferenciados em campos elétricos e magnéticos, que ajudaram a consolidar a classificação, primeiramente, proposta por Rutherford, baseada nas suas capacidades de penetração.

Uma passagem que também chamou a atenção de muitos alunos (A, C, D, G e H) consta na introdução da seção sobre a radioatividade (FERRARO et al., 2010, p. 635), em que os autores discorrem sobre seu *batismo*. Como no exemplo anterior, pode-se notar que eles se eximem da citação da cientista que propôs a nomenclatura – Marie Curie – redigindo o trecho na voz passiva ("Essa emissão espontânea foi denominada radioatividade"). Como defende o aluno C,

> Apesar de não haver menção explícita sobre quem batizou a nova descoberta, pelo curto parágrafo o entendimento que fica é de que o nome foi dado por Becquerel, quando na verdade quem assim chamou essa emissão foi Madame Curie. Considerando-se que já no parágrafo seguinte o texto menciona os Curie, fica caracterizado [sic] assim a despersonalização do termo radioatividade. (ALUNO C).[9]

Sendo a radioatividade um fenômeno de fronteira entre a Física e a Química, sua história não seria completa sem a referência sistemática a diversos químicos que ajudaram a construí-la. Mesmo em um relato histórico mais superficial, o nome de Frederick Soddy não pode ser negligenciado, contudo, no livro analisado, omite-se completamente esse grande pesquisador, que trabalhou em conjunto com Rutherford na teoria da desintegração dos elementos e, mais à frente, descobriu os isótopos. Para esse fato apontam os alunos D, G e H.

O fato de Soddy ser, reconhecidamente, um químico não seria justificativa plausível para a omissão de seu nome, pois Marie e Pierre Curie são caracterizados no livro como um "casal de químicos franceses" (FERRARO et al., 2010, p. 635). Esse equívoco na descrição do casal, interessantemente, não foi apontado por nenhum dos alunos, entretanto é de extrema importância ressaltar que Pierre era físico e sua esposa era física e matemática.

Dois alunos (E e F) não se limitaram a apontar, unicamente, exemplos de despersonalização, indicando também a passagem em que dois cientistas vastamente negligenciados – Hans Geiger e Ernest Marsden – são citados com propriedade no texto.

Enfatiza-se que, nas segunda e terceira aulas do módulo, abordou-se fortemente o experimento de espalhamento de partículas alfa, que foi construído, executado, tratado e publicado pelos dois físicos. Essa passagem histórica é de enorme relevância na Física e na Química, pois foi interpretando tal experimento que Rutherford propôs o modelo atômico nuclear.

No livro didático utilizado pelos alunos na disciplina de Estrutura da Matéria I (EISBERG; RESNICK, 1979), objeto de análise da terceira aula do módulo, observa-se que os autores associam o experimento ao físico neozelandês. De sua formação e leituras anteriores, muitos alunos conheciam esse experimento como *experimento de Rutherford*; constatar que

[9] Conjunto de questões.

ele não foi o executor do experimento foi reportado por eles, em aula, como surpreendente.

Assim como os estudantes E e F, o aluno I também aponta para a personalização do texto, nesse caso, de maneira mais ampla. Ele observa que os autores, em geral, tentam mencionar muitos cientistas, o que ajuda a não caracterizar o livro como completamente despersonalizado. Deve-se ressaltar que observações mais amplas, como a do aluno I, não foram as eleitas pelos alunos, que, em geral, notaram omissões nos relatos históricos.

Chevallard caracteriza a despersonalização como algo mais profundo, como a necessidade de desapropriar o conhecimento científico. Para garantir a cientificidade de um conhecimento e seu *status* de incontestável, é necessário que ele não esteja atrelado a nenhum cientista, que ele seja desapropriado, contudo tamanha desapropriação é impossível quando se opta pela utilização da História da Ciência, mesmo que seja de maneira introdutória.

Assim, a conclusão do aluno I é bastante coerente. A leitura do livro permite que o sistemático reconhecimento de grandes cientistas, que conceberam certos conceitos e fenômenos, seja possível, entretanto, a ciência não é feita por alguns poucos gênios; é na realidade, uma atividade feita, essencialmente, em comunidade.

Essa asserção é, vastamente, acordada entre os diversos filósofos da ciência pós-positivistas como Kuhn, Lakatos e Feyerabend. A simples menção a alguns cientistas, nesse caso, pesa tanto quanto a vasta omissão das dezenas de outros cientistas, na interpretação de que a ciência é uma atividade destinada apenas a mentes (muito) privilegiadas – imagem essa que é, certamente, equivocada.

Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga?

O livro escolhido, como o próprio nome (Física – Ciência e Tecnologia) já sugere, pretende proporcionar, nas aulas de Física, exemplos de contextualização, especialmente, tecnológica e medicinal, daqueles conceitos e fenômenos tratados. Algumas seções, expostas de maneira separada do texto base do livro, são destinadas especificamente para o alcance desse objetivo. Elas são intituladas *Ciência, tecnologia e sociedade; O que diz a mídia!; Aplicação tecnológica;* e *Você sabe por quê?*. Para cinco alunos – B, E, F, H e I – essa característica não passou despercebida.

Deve-se atentar para o sentido da relação entre ciência, tecnologia e sociedade, mais especificamente, nas seções sobre a radioatividade e outros fenômenos relacionados historicamente. De maneira geral, os autores mostram as tecnologias possibilitadas *após* as descobertas, desse modo,

omitindo necessidades sociais e tecnológicas que por ventura *motivaram* as pesquisas científicas.

Apesar de muitos dos cientistas em questão não terem sido levados a pesquisar por interesses governamentais ou industriais, foram discutidos, na segunda aula do módulo, os fatores que levaram Frederick Soddy e Otto Hahn a estudar as emanações dos elementos radioativos e, em decorrência, a fazer grandes descobertas como os isótopos e a fissão nuclear. Apesar da forte ênfase da segunda aula do módulo no assunto, nenhum aluno demonstrou essa compreensão, ao fazer a análise do livro.

Houve outra imagem da ciência que chamou a atenção de cinco alunos. E, F, G, H e I indicaram a propensão do livro a uma ideia aproblemática do trabalho científico.

De maneira muito interessante, o trecho "Visto que essas radiações tinham partido do interior do átomo, era lógico concluir que os raios α e β eram constituídos por partes do átomo" (FERRARO et al., 2010, p. 541), mencionado por seis alunos, também gerou posicionamentos divididos. Os estudantes E, F e G concluíram que tal passagem propaga uma ideia aproblemática do trabalho científico. Já os estudantes A, C e H defenderam que, a partir dela, pode-se concluir que a ciência é acumulativa.

O aluno G sustenta seu posicionamento quanto ao referido trecho: "[A passagem acima é] *A-histórica pois não dá relevância aos problemas surgidos, que fica claro quando os autores usam a palavra lógico no trecho acima*" (ALUNO G, grifo do autor).[10]

Já o aluno C justifica sua interpretação acumulativa da passagem:

> A passagem acima passa a impressão de que o conhecimento científico vai se acumulando naturalmente, a cada nova descoberta. Tomar como lógica a conclusão de que as radiações eram constituídas por partes do átomo, e que na sequência suas naturezas foram demonstradas, mascara a longa história de investigações e teorizações dos envolvidos nessas pesquisas, as quais se deram, em boa parte, sem um modelo de átomo bem estabelecido. (ALUNO C).[11]

A dificuldade de diferenciação entre as concepções equivocadas aproblemática (ou a-histórica) e acumulativa (de crescimento linear) foi relatada por Gil-Pérez et al. (2001) no estudo referência desse módulo. Para esses autores, inclusive, as duas concepções são complementares. A diferença fundamental entre as duas reside em seus carateres. Enquanto a ideia não-acumulativa da ciência demonstra uma característica externalista – em que grandes rupturas de conhecimentos estão em jogo –, concebe-se que a imagem histórica da ciência seria de natureza interna – quando os problemas que surgem durante as pesquisas científicas funcionam como propulsores para sua evolução. Enquanto uma ideia

[10] Conjunto de questões.
[11] Conjunto de questões.

não-acumulativa estaria mais fortemente associada à filosofia da ciência de Thomas Kuhn, é Larry Laudan que advoga o papel fundamental dos problemas que invariavelmente surgem para a consolidação de uma teoria científica.

O posicionamento mais adequado frente a esse trecho de Ferraro et al. (2010) parece ser o de que ele (possivelmente) propaga uma ideia aproblemática na construção de uma teoria. Não se pode atribuir aos estudos em questão a característica revolucionária descrita por Kuhn (1978), embora eles sejam mais claramente compreendidos à luz da Física Moderna, produto de uma grande revolução científica.

Nessa passagem, a dificuldade maior dos autores é de refletir a dinâmica complexa entre modelos atômicos e radioatividade. Os alunos tiveram a oportunidade de ler e discutir sobre os grandes problemas que essa dinâmica provocou, e que, ao serem solucionados pelos cientistas, esclareciam cada vez mais essa relação. De todas as palavras adequadas para a descrição dessa dinâmica, *lógico* seria a menos indicada dentro de uma perspectiva histórica. E foi exatamente esse o termo enfatizado por cinco (A, C, E, G e H) dos seis alunos que citaram o trecho.

Dentre os três alunos que atribuíram ao trecho que utiliza a palavra *lógico* uma característica acumulativa, dois deles – A e C – não forneceram nenhum exemplo, de qualquer outra ideia de ciência propagada pelo livro. Na entrevista, ambos foram questionados sobre outras possíveis ideias que, por ventura, passaram despercebidas. Nenhum dos dois conseguiu apresentar qualquer outro exemplo, contudo, as justificativas foram diferentes. O aluno A declarou não ter procurado por outras imagens, mas enfatizou o choque que a palavra *lógico* lhe causou. Já o aluno C descreveu sua dificuldade em identificar outras imagens.

> Eu lembro que nessa questão eu procurei bastante e eu não consegui enxergar uma imagem específica da ciência ao longo do texto [...] eu tentei procurar alguma outra, mas confesso que não consegui enxergar. [...] Parecia que ele não falava muito sobre a evolução dos conceitos [...] Parecia que ele já dava direto "ah, hoje o conceito é assim e acabou". Fora uma ou duas linhas que mencionavam "o estudo começou com fulano-de-tal, mas hoje é assim. (ALUNO C).[12]

Sem perceber, o estudante C demonstra que o livro como um todo – e não apenas o trecho que ele apontou – propaga uma ideia de crescimento linear do conhecimento, utilizando sua história, eventualmente, como artefato introdutório, entretanto, é clara a sua falha em reconhecer que, mais do que um mero produto da reorganização dos conhecimentos, essa é uma maneira implícita de passar uma imagem errônea da ciência.

Vale ressaltar que o aluno H, interessantemente, também conseguiu apresentar um (bom) exemplo de discurso aproblemático. Ele observou

[12] Entrevista.

que, na introdução histórica sobre as pesquisas em modelos atômicos nucleares, os autores narram que "estudos posteriores mostraram que o núcleo atômico não é uma bolinha rígida, como foi imaginado inicialmente" (FERRARO et al., 2010, p. 632). Essa maneira de descrever os estudos feitos por muitos cientistas acaba por esconder os problemas encontrados para adequar modelos atômicos aos resultados experimentais que surgiam sistematicamente. Para ele, esse é um sinal de uma ideia de ciência aproblemática.

O aluno G destacou mais uma passagem que propaga uma concepção aproblemática da ciência. Sobre a narrativa histórica feita pelos autores para introduzir a seção de radioatividade (FERRARO et al., 2010, p. 635), esse estudante indica que não há nenhuma menção ao fato que permitiu as pesquisas que levaram à descoberta da radioatividade – a conjetura de Henri Poincaré sobre a origem dos raios X na parte luminescente do tubo de Crookes. O problema gerado pelo desconhecimento da natureza das radiações X foi, certamente, essencial para as pesquisas de Becquerel com sais de urânio.

Quanto à imagem analítica da ciência, apenas dois alunos mencionam-na. O aluno I faz uma descrição, mas não fornece exemplos do texto em análise. Já o aluno G fornece um exemplo equivocado. Gil-Pérez et al. (2001) mencionam a dificuldade dos professores de identificar essa ideia da ciência como errônea, assim como a pouca quantidade de pesquisa feita pelos acadêmicos em Ensino de Ciências para contraexemplificar essa concepção.

Para esses autores, parece natural à amostra estudada assumir que a ciência, hoje em dia, preocupa-se com as especificidades, em detrimento da busca por uma coerência global no corpo de conhecimentos, entretanto, na Filosofia da Ciência enxerga-se a situação de maneira oposta, e nota-se, na busca por um conhecimento coeso, um valor epistêmico fortíssimo.

Quatro alunos – B, G, H e I – apontam para trechos em que o livro propaga uma ideia ateórica da ciência. Dentre eles, B e H citam a passagem "As experiências de Rutherford, em conjunto com seus alunos H. Geiger e E. Marsden, mostraram que o núcleo dos átomos pode ser considerado uma carga positiva pontual" (FERRARO et al., 2010, p. 632) como propagadora da imagem ateórica da ciência, com razão.

O aluno B ainda aponta para dois outros trechos com a mesma inclinação: "Como veremos mais adiante, experimentos posteriores mostraram que a radiação alfa na verdade não é radiação, e sim núcleos de hélio emitidos por núcleos instáveis de elementos mais pesados" (FERRARO et al., 2010, p. 632); e "Após numerosos e cuidadosos procedimentos de separação e purificação de minérios radioativos, o casal [Curie] comunicou a descoberta de outros dois elementos espontaneamente radioativos, ainda desconhecidos" (FERRARO et al., 2010, p. 635).

Esse tipo de utilização superficial da história tem como efeito a omissão da relação muito complexa entre teoria e experimento. Por exemplo,

no caso do experimento – atribuído de maneira errada a Rutherford – de espalhamento de partículas alfa, ele foi feito para o estudo da natureza das partículas beta, inicialmente.

Ao utilizar uma fonte de partículas alfa, em 1909, o resultado foi espantoso. Rutherford, professor encarregado do laboratório em que trabalhavam Geiger e Marsden, pôs-se a interpretar o fenômeno, que atacou por diversas perspectivas teóricas. Mesmo depois de propor o modelo atômico nuclear, o experimento foi repetido e reinterpretado, e sendo publicado em 1914 por Rutherford com o auxílio da noção de número atômico (GEIGER; MARSDEN, 1909; RUTHERFORD, 1911; GEIGER; MARSDEN, 1913; RUTHERFORD, 1914).

No caso da natureza das partículas alfa, a dinâmica entre hipóteses e evidências durou quase dez anos; já nas pesquisas do casal Curie, suas buscas deram-se, especialmente, por uma hipótese balizadora: a de que a radioatividade seria uma característica atômica da matéria.

Ressalta-se aqui que essas mesmas passagens poderiam ser utilizadas pelos alunos para demonstrar um aspecto algorítmico nas narrações históricas do livro. A concepção da existência de um método científico, que envolve uma sequência de passos, entretanto não foi tratada por nenhum aluno além de I, que não o fez de maneira satisfatória.

Dos nove alunos entrevistados, apenas o estudante D não apresentou, em suas respostas, qualquer sinal de identificação de concepções sobre a ciência. Como sua opção de confecção das respostas (como uma pequena dissertação, ao invés de respostas às perguntas separadamente) e sua participação bastante ativa durante as aulas do módulo não demonstravam, conclusivamente, sua falta de compreensão acerca desse tema de inclinação mais filosófica, a pergunta: *que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga?,* constante do conjunto de questões, foi-lhe feita na entrevista.

> Acho que a própria ordem cronológica, que não é respeitada, já dá uma impressão errada, não consegue identificar o que veio antes do quê. Não necessariamente tem que ter uma ordem cronológica, mas no texto pode estar escrito [...] que os Curie vieram antes de Rutherford e que Rutherford foi influenciado pelos [estudos] dos Curie. Inclusive, acho que essa é uma imagem que é distorcida, é que ele fala de próton e depois ele fala da parte de meia-vida. Então dá uma impressão de que eles já sabiam as bases teóricas. (ALUNO D).[13]

Assim, de certa maneira, ele descreve uma característica do trabalho científico, de que ele não é *lógico* e linear como propagado no livro, como consequência de sua organização. Ao continuar, ele demonstra uma concepção da ciência que, apesar de soar, inicialmente, empírico-indutivista, pode ser interpretada, com o auxílio das observações desse aluno durante

[13] Entrevista.

o módulo, como uma tentativa de demonstrar a relação mais complexa existente entre experimento e teoria, ponto enfatizado durante as aulas.

> [...] e é justamente o contrário: essas bases teóricas foram desenvolvidas depois do trabalho experimental, e dá essa impressão de que todo experimento tem uma hipótese pro trás dele que é comprovada depois. (ALUNO D).[14]

Em relação aos exemplos propostos pelos alunos para ilustrar imagens da atividade científica, pode-se concluir que, apesar de se demonstrarem bastante presos às ideias errôneas mapeadas por Gil-Pérez et al. (2001), as tentativas explícitas do livro de contextualização tecnológica não passaram despercebidas pelos alunos.

Ainda, é possível notar que outras características mais sofisticadas do trabalho científico, trabalhadas especialmente na segunda aula do módulo, como a busca pela coerência global e a investigação do pensamento divergente não foram mencionadas, contudo não se pode avaliar de maneira negativa suas respostas, pois pela primeira vez, fizeram uma análise como essa.

A ampla variedade de exemplos e a recorrente associação com a história da radioatividade, conforme discutida em sala de aula, por si só, são claros indícios de que o primeiro ensaio desses alunos foi bastante proveitoso e satisfatório.

Considerações finais

Cinco dos dez alunos – aqueles matriculados no bacharelado – tiveram contato com os termos da Transposição Didática, pela primeira vez em suas formações. E também pela primeira vez, todos eles foram levados a exercitar uma análise dos conteúdos historicamente relacionados à radioatividade em um livro didático com o auxílio da História da Ciência.

Por fim, todos tiveram contato, discutiram e identificaram certas deformações do trabalho científico que, por ventura, apresentaram-se no objeto de análise. Algumas dificuldades mostraram-se no decorrer do módulo. A maior delas, a dificuldade que três alunos apresentaram em discernir descontextualização histórica de dessincretização. Apesar disso, a diferença clara entre a ordem didática dos livros e a História da Ciência foi citada fortemente, o que aponta para o efeito do módulo e, mais amplamente, da própria disciplina de Evolução dos Conceitos da Física.

O exercício aqui descrito foi direcionado, especificamente, para os conteúdos de radioatividade (e historicamente relacionados). Em função desse estudo, cabe indagar que possibilidades os alunos vislumbraram no sentido de utilizar uma análise semelhante em outros contextos.

[14] Entrevista.

Essa pergunta, feita durante a entrevista, trouxe respostas altamente satisfatórias. Os alunos B, C, D, E, F, G e H afirmaram que sua capacidade de identificação desses processos poderia, sim, ser generalizada para outros conteúdos. De maneira ainda mais importante, C, D, F, H e I demonstraram valorizar o exercício proposto.

Um dos estudantes, A, afirmou que apenas esse exercício não era o suficiente para que ele conseguisse se posicionar mais criticamente quanto ao livro didático, enfatizando a necessidade de outras análises. Para ele, esse não foi um ensaio fácil. Dois outros alunos – G e H – também apontaram para a complexidade do exercício proposto, explicitando o tempo que dedicaram para terminá-lo. Apontaram também – juntamente com os estudantes E e F – para o papel essencial de um conhecimento sólido em História da Ciência.

Assim, quando questionados sobre as possibilidades de amenização das lacunas deixadas no conhecimento pelo livro didático, todos os nove alunos entrevistados levantaram a importância do professor, corrigindo e complementando livros didáticos, no que for necessário, e sugerindo uma variedade de leituras complementares. E esse é exatamente o ponto crucial dessa proposta de exercício.

Os professores, dentre outras coisas, precisam de uma formação adequada em história da sua ciência para que possam, ao menos, reconhecer os saberes expostos no livro didático e as lacunas que ele pode trazer, especialmente em relação à História da Ciência e às concepções do trabalho científico. Não se pode atribuir completamente a culpa ao livro didático das dificuldades de se transmitir uma imagem adequada do conhecimento científico. O professor também é ator fundamental no Ensino de Ciências e sobre ciências.

De maneira muito interessante, os alunos G e H fazem menção também ao papel do discente na complementação de seu conhecimento. Apontam para a importância da vontade de aprender do aluno – tanto do Ensino Médio, como do Ensino Superior – e, para tanto, da necessidade da busca de novas fontes de informação e conhecimento. Essa posição mostra que eles, como professores em formação, notam também que o aluno é fundamental no processo de ensino-aprendizagem.

Em outro momento da entrevista, o estudante D demonstra ter opinião semelhante à de seus colegas, enfatizando acreditar ser fundamental não apenas ao futuro professor, mas também ao aluno de bacharelado o exercício de crítica ao livro didático. Ele reitera que, aliando a leitura crítica a outras fontes, é possível para o futuro cientista ter uma compreensão mais correta da natureza da ciência.

Quando e como tratar a História da Ciência no Ensino Superior, certamente, não é escolha fácil, pois obriga que algumas opções sejam feitas. A ordem, supostamente lógica, de um livro didático dificilmente satisfará a necessidade de uma compreensão sólida da história da ciência. A opção

mais viável é, certamente, a existência de um espaço dedicado especificamente a tais discussões, como é o caso da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física ou outras correlatas.

Mais ainda, é fundamental que paralelos entre o que já foi aprendido conceitualmente e a história desses fenômenos sejam feitos, não apenas para a construção de uma melhor compreensão do trabalho científico, mas também para a formação de professores capazes de identificar e discorrer sobre alguns aspectos da Natureza da Ciência, presentes em livros didáticos ou mesmo na mídia escrita e falada. Invariavelmente, haverá lacunas nos livros didáticos, segundo a variedade de objetivos listados para o Ensino de Ciência.

Talvez, inclusive, a tarefa de produção de livros didáticos perfeitos sob todos os pontos de vista – por exemplo, que contemplem a História e a Filosofia da Ciência, que reúnam atividades experimentais, que sejam capazes de contextualizar social e tecnologicamente, que abordem com clareza todos os fenômenos da Física Clássica e Moderna – seja utópica, ou árdua demais para sequer ser possível. São as variáveis humanas do sistema didático – aluno e, especialmente, professor – que devem fazer as complementações necessárias. Só dessa maneira, um bom ensino *de* e *sobre* ciências será possível.

Referências

BADASH, L. *Rutherford and Boltwood:* letters on radioactivity. New Haven e Londres: Yale University Press. 1969. 377 p.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio:* orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 244p.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 27, n. 3, dez. 2010.

CORDEIRO, M. D; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 33, n. 3, p. 3601-3612, 2011a.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. *Consequências das descontextualizações em um livro didático:* uma análise do tema radioatividade. Artigo submetido à publicação, 2011b.

CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique:* du savoir savant au savoir enseigné. Grénoble: La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

CURIE, E. *Madame Curie*. Tradução Monteiro Lobato. 11. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1962.

EISBERG, R., RESNICK, R. *Física Quântica:* átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FELDMAN, B. *The Nobel Prize.* 1. ed. Nova York: Arcade Publishing, 2000.

FERRARO, N. G. et al. *Física – Ciência e Tecnologia.* São Paulo: Moderna, 2010. (Volume único).

FREEDMAN, M. I. Frederick Soddy and the practical significance of radioactive matter. *The British Journal for the History of Science*, v. 12, n. 42, 1979.

GEIGER, H.; MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the alpha particles. *Proceedings of the Royal Society.* Londres, v. 82, p. 495-500, 1909.

GEIGER, H., MARSDEN, E. The Laws of deflexion of alpha particles through large angles. *Philosophical Magazine*, s. 6, v. 25, n. 148, abr. 1913.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 125-154, 2001.

KRAGH, H. The origin of radioactivity: from solvable problem to unsolvable non-problem. *Archive for History of Exact Sciences*, Berlin/Heidelberg, v. 50, n. 3-4, set. 1997.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900 – 1925. *Studies in History and Philosophy of Science Part B:* Studies in History and Philosophy of Modern Physics, v. 31, n. 4, dez. 2000.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas.* São Paulo: Perspectiva, 1978.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7 (número especial), p. 27 – 45, 1990.

MARTINS, R. A. Becquerel and the Choice of Uranium Compounds. *Archives for History of Exact Sciences,* Berlin/Heidelberg, v. 51, n. 1, p. 67-81, mar. 1997.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. *Revista da SBHC,* n. 1, p. 29-41, 2003.

MARTINS, R. A. Ciências versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre História da Ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M; BELTRAN, M. H. R. (Eds). *Escrevendo a História da Ciência:* tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: EDUC/Livraria da Física/FAPESP, 2005. p. 115-145.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: the present rapprochement. *Science & Education*, 1(1), 11-47, 1992.

MCGRAYNE, S. B. *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências:* suas vidas, lutas e notáveis descobertas. Tradução Maiza F. Rocha e Renata Brant de Carvalho. São Paulo: Marco Zero, 1995.

OWENS, T. Going to school with Madame Curie and Mr. Einstein: gender roles in children's science biographies. *Cultural Studies of Science Education,* Holanda. Publicado *online*, fev. 2009. Disponível em <www.springerlink.com>. Acesso em: 17 mai. 2009.

PASACHOFF, N. *Marie Curie and the science of radioactivity.* Oxford University Press, 1996. Disponível em: < http://www.aip.org/history/curie/contents.htm>. Acesso em: 17 maio. 2009.

PEDUZZI, L. O. Q.; CORDEIRO, M. D.; NICOLLODELLI, D. *Hipermídia:* evolução dos conceitos da Física. UFSC/EAD/CED/CFM, 2011 (ISBN: 978-85-8030-015-4).

RUTHERFORD, E. The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine,* s. 6, v. 21, p. 669-688, maio. 1911.

RUTHERFORD, E. The Structure of the Atom. *Philosophical Magazine,* s. 6, v. 27, p. 488-498, mar. 1914.

RUTHERFORD, E. The chemical nature of the alpha particles of the radioactive substances. In: *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*. Amsterdam: Elsevier, 1966.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. *Philosophical Magazine,* v. 4, p. 370 – 396, 1902.

SODDY, F. The origins of the concetions of isotopes. In: *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*. Amsterdam: Elsevier, 1966.

TRIVIÑOS, A. N. S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais*: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987. 175 p.

A FÍSICA EXPERIMENTAL NUMA PERSPECTIVA HISTÓRICO-FILOSÓFICA

CAPÍTULO 8

Marco Braga
Andreia Guerra
José Claudio Reis

Introdução

O debate sobre a introdução de questões ligadas ao processo de construção do conhecimento científico nos currículos do Ensino de Ciências tem se intensificado em anos recentes.

Essa intensificação tem sua origem na divulgação dos objetivos traçados pelo projeto 2061, nos Estados Unidos da América, na década de 80 do século XX (RUTHERFORD; AHLGREN, 1985). As diretrizes do projeto foram editadas no ano da passagem do cometa Halley, e visavam a orientar os caminhos de uma alfabetização científica de todos os americanos até a próxima passagem do cometa Halley no ano 2061.

Em um de seus capítulos, o documento apresentava o termo *Natureza da Ciência* como um dos quesitos relevantes para alcançar tal objetivo. Mais do que aprender os conteúdos específicos de cada uma das ciências, explicitava-se que deveriam ser aprendidas competências e habilidades referentes aos processos de construção do conhecimento científico, além de sua visão de mundo.

O discurso metacientífico, que antes existia apenas por meio da exposição de um pseudo *método científico* nas primeiras aulas das disciplinas científicas, foi ganhando destaque nas discussões sobre Ensino de Ciências. Primeiramente nos Estados Unidos da América e mais tarde em todo o mundo, esse tema transformou-se num dos pontos mais importantes da pesquisa em Ensino de Ciências, chegando hoje a se constituir quase como uma área de investigação.

Os educadores americanos e europeus que vinham desenvolvendo trabalhos no campo da História e Filosofia da Ciência perceberam que existia uma importante contribuição dessa área para os estudos sobre Natureza da Ciência. A Filosofia da Ciência desenvolvida a partir dos anos 60 do século XX, principalmente a partir do livro *A Estrutura das Revoluções Científicas,* de Thomas Kuhn (1980), incorporou os estudos historiográficos como uma importante fonte de reflexão e de entendimento sobre o que era o conhecimento científico e como era produzido. Logo, no campo da educação científica, esse acabou sendo um caminho natural a ser trilhado.

No Brasil, os estudos sobre Natureza da Ciência intensificaram-se bastante nos últimos anos. Também aqui, aqueles que já vinham trabalhando com questões ligadas à História e Filosofia da Ciência, a partir da inserção internacional da área, passaram a se ocupar dessa questão. Hoje, os problemas relacionados à Natureza da Ciência, já ocupam um bom espaço no conjunto dos trabalhos de História e Filosofia da Ciência.

No âmbito dos debates internacionais, a expressão *Natureza da Ciência* já foi alvo de diversos questionamentos. Primeiro em relação à ideia de que possa existir uma *natureza*, ou uma essência, para a ciência. Os estudos historiográficos não têm levado a uma concordância em relação à existência dessa natureza. Muito se discute se existe uma ciência ou diversas ciências. Tal questão não se refere apenas à busca de uma natureza comum às ciências naturais, sociais e humanas. Mesmo no âmbito das ciências naturais não existe um consenso sobre a unicidade de Física, Química e Biologia.

Em segundo lugar, percebe-se que existe uma grande diversidade de posicionamentos em relação a questões sobre a ciência. Ainda que em um mesmo tempo e espaço, alguns filósofos da ciência compartilhem ideias e pontos de vista, não se pode fechar questão em relação a elas. Esse é o *modus operanti* da Filosofia. Não há uma verdade fechada e acabada que se deva ensinar sobre o que é ciência ou como ela opera. Pode-se, isso sim, problematizar a visão ingênua dos alunos tornando a mais complexa.

Portanto, esse é o ponto de partida que devemos tomar. A História e a Filosofia da Ciência devem trazer elementos para que alunos e professores possam pensar a ciência. Colocar em cheque visões que estão bem estabelecidas no senso comum. Conhecer outros pontos de vista acerca de um tema, sobre o qual já se tem alguma opinião, pode nos fazer mudar ou buscar argumentos para defendê-la. Só isso já é suficiente. Esse deve ser o objetivo: acrescentar elementos que permitam aos alunos e professores pensarem a ciência, tornando sua visão cada vez mais sofisticada.

A exemplo dos trabalhos que vinham sendo desenvolvidos nos Estados Unidos da América e Canadá sobre um levantamento das concepções dos alunos e professores em relação à Natureza da Ciência – pelos pesquisadores Lederman (1992); Lederman et al. (2002); Aikenhead, Ryan e Fleming (1987); McComas (1998) –, no Brasil, procurou-se seguir um caminho similar, mas já desenvolvendo materiais didáticos que visassem a criar perturbações nas visões de alunos e professores sobre esse tema (a exemplo de: El-Hani, Tavares e Rocha, 2004, Teixeira, El-Hani, e Freire Jr., 2009).

O papel da experimentação na construção do conhecimento científico

As relações entre teoria e experimentação sempre foram motivo de controvérsias, no interior das discussões sobre a existência de uma possível Natureza da Ciência. Duas vertentes epistemológicas, empirismo e racionalismo, vêm mantendo um diálogo histórico ao longo de séculos, e a relevância da experimentação na construção do conhecimento científico sempre foi uma temática central desses debates. Diversos capítulos foram escritos em Descartes, nos empiristas britânicos do século XVIII e, fundamentalmente, em Kant.

Novas facetas desse debate ganharam forma ao longo do século XIX e início do XX, tanto no pensamento de Comte como no positivismo lógico dos círculos de Viena e Berlin. Todas essas correntes colocaram os dados experimentais como único fundamento seguro, não metafísico, e o processo de sua justificação lógica como cerne do processo de construção do conhecimento científico. Nesse contexto, o laboratório ganhou um papel muito específico: é o *locus* de coleta dos dados, base para obtenção do conhecimento.

A partir da década de 60 do século XX, com a crítica à *Concepção Herdada*,[1] os filósofos da ciência procuraram encontrar novos caminhos. Na obra de autores tão diversos como Popper (1975; 1980) e Kuhn (1980), a teoria passa a ter papel preponderante, obtendo independência em relação à experimentação. O laboratório deixou de ser o espaço para obtenção da única fonte segura de conhecimento e transformou-se no lugar onde a natureza seria inquerida, forçada a falar sobre a veracidade da teoria.

Os próprios artefatos e processos experimentais estariam impregnados pela teoria que visavam a confirmar ou refutar. Todas essas visões deram à experimentação um papel secundário no contexto da construção do conhecimento científico.

Nos anos finais do século XX, alguns filósofos da ciência começaram a mudar novamente o foco das discussões. Da busca de uma compreensão do que era o conhecimento científico, foco no conteúdo, passou-se ao entendimento da atividade científica, isto é, ao processo de sua construção. A Sociologia entrou no debate. Novas questões foram trazidas por sociólogos da ciência como David Bloor (1976), Bruno Latour e Steve Woolgar (1986) e outros que, da análise sociológica, passaram a implementar estudos etnográficos no interior dos laboratórios,[2] tentando entender esse processo.

[1] O termo *Received View* ou *Concepção Herdada* foi criado para denominar toda a Filosofia da Ciência, herdeira do positivismo lógico, que foi desenvolvida nas décadas de 40 e 50 do século XX, antes do movimento crítico que teve seu início com Popper, Kuhn e outros.

[2] Bruno Latour realizou uma investigação etnográfica durante 2 anos no Salk Institute for Biological Studies, na Califórnia.

A construção do conhecimento científico passou a ser entendida como algo que pode acontecer no laboratório, mas, fundamentalmente, num emaranhado de interações externas a ele, em diversas outras instituições, como empresas, órgãos de fomento, parlamentos, etc.

Nos anos 70 e 80 do século XX, uma nova corrente entrou no debate. Sem defender os ícones do antigo positivismo lógico, alguns filósofos começaram a lançar um novo olhar para a experimentação.[3] Hacking lançou as bases de uma filosofia do experimento. Para esse autor, os filósofos da ciência preocuparam-se bastante com as teorias como representação da realidade, mas eles pouco discutiram seu papel como ferramenta de transformação da realidade (HACKING, 1983).

Hacking procurou questionar a visão compartilhada por quase todos os filósofos da ciência da época de que a prática experimental estava impregnada de teoria. Para ele, as teorias também estavam impregnadas pelas práticas experimentais e fundamentalmente pelos artefatos.

Para ele, o fator mais importante que caracteriza a ciência é a intervenção sobre o mundo e não sua descrição. Os elétrons, por exemplo, são inobserváveis. Para filósofos não realistas, eram meras construções teóricas que ajudariam a descrever a matéria, mas Hacking argumenta que borrifamos elétrons no laboratório e construímos aparelhos a partir deles. Logo, sua realidade é função de sua capacidade de intervenção no mundo.

Peter Galison, outro filósofo dedicado ao experimento e ao contexto tecnológico que cerca a atividade científica, em seu livro *Os relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré – impérios do tempo* (2005) criticou o fato de muitos historiadores da ciência afirmarem que *apesar* de Einstein ainda trabalhar num escritório de patentes, ele foi capaz de realizar o feito de publicar cinco artigos revolucionários em 1905. O argumento de Galison é que o fato de Einstein trabalhar num escritório de patentes acabou sendo fundamental para uma reflexão sobre questões ligadas à velocidade da luz e ao tempo.

Num escritório de patentes na Suiça, trabalhava-se com diversas questões ligadas à medição do tempo e ao sincronismo de relógios. As linhas férreas tinham que sincronizar seus relógios e estava-se começando a usar linhas telegráficas para tal. O problema eram as distâncias percorridas pela onda eletromagnética com a informação da hora ao longo da linha. Era impossível sincronizar relógios das diversas estações.

Para Galison, essa questão tecnológica foi fundamental para problematizar Einstein. Sua motivação não provém apenas de problemas teóricos, mas fundamentalmente técnicos. Nesse sentido, Galison concorda com Hacking na questão de que a teoria também está repleta de elementos experimentais e técnicos.

[3] Ian Hacking, Peter Galison, John Dupré e Nancy Cartwright formaram a partir da década de 70 do século XX o que ficou conhecido como Escola de Stanford, por ser um grupo que trabalhava na Stanford University. Hoje Hacking está na University of Toronto, Galison no MIT, Dupré na University of Exeter e Cartwright na London School of Ecnonomics.

Embora ainda persistam visões ingênuas, no senso comum, sobre o papel da experimentação na construção do conhecimento científico, a questão do ponto de vista filosófico ainda está aberta. Portanto, não existe uma verdade fechada de um problema que tem natureza complexa.

Leis naturais e leis científicas

O significado do que é uma lei científica é um dos pontos mais discutidos ao longo dos últimos anos nas investigações sobre Natureza da Ciência. Em diversos testes de verificação das concepções dos alunos/professor sobre Natureza da Ciência, como VOSTS, COCTS e VNOS, aparecem questões que envolvem seu papel (AIKENHEAD, 1987, Vasquez e Manassero, 2001[4], Lederman et al., 2002) .

Será que existe alguma clareza sobre o que é uma lei?

Muitos filósofos naturais nos séculos XVII, XVIII e XIX, compreendiam as leis como sendo naturais. A lei não era uma construção, mas algo inerente à própria natureza. Para muitos, a ideia de lei natural e a existência de um Deus criador dessas leis estavam extremamente imbricadas.

Nos anos de 1715 e 1716, Leibniz trocou correspondências com o pastor Samuel Clark, amigo e defensor das ideias de Newton, sobre questões relativas à Física. Nelas, Leibniz defende sua posição de um mecanicismo onde existiam leis naturais invioláveis e que Deus havia criado, no início dos tempos, não qualquer mundo, mas o melhor dos mundos possíveis. A partir desse momento, imprimiu nele suas leis naturais. Caberia aos filósofos naturais descobri-las. Leibniz criticava Newton por defender que as leis do movimento pudessem ser alteradas a qualquer momento pelo Criador, se assim o agradasse. No universo newtoniano, ao contrário do leibniziano, elas poderiam ser violadas pelo criador. Logo, o milagre era possível.

Em muitos livros didáticos e textos de divulgação científica, essa ideia ainda é bastante corrente. Ela ainda é parte do imaginário coletivo de grande parte dos alunos e professores.

Mais tarde a ideia de lei foi se modificando, passando a ser percebida não como algo impresso na natureza, mas como uma construção humana.

No século XVIII, David Hume, criticou não só a ideia de lei natural como sua própria existência (HUME,2008). Para ele, a única verdade estava nos fatos obtidos da experiência.

Em primeiro lugar, Hume questionou a veracidade da atribuição de causalidade entre dois fatos. Ao se atribuir uma ligação de causa e efeito entre dois fatos obtidos da observação, estava-se criando uma relação universal sem qualquer garantia de veracidade. Como um dos empiristas britânicos, ele dizia que essa ligação era metafísica, pois só existia na

[4] Vesquez e Manassero traduziram para o espanhol o questionário VOSTS de Aikenhead e deram novo tratamento estatístico às respostas, denominando-o de COCTS.

mente humana. Ela não possuía qualquer garantia de certeza, já que as únicas certezas provinham dos fatos extraídos da experiência. As correlações entre esses fatos eram falsas.

Em segundo lugar, Hume questionou a indução como forma de se chegar à verdade e que muitas vezes era utilizada como garantia da ligação entre dois fatos independentes. Imaginemos que um torcedor utilize uma camisa de seu clube num estádio durante um jogo em que seu time vença. Se esse fato se repetir duas, três, quatro ou cem vezes não se poderia utilizar essas repetidas ocorrências como garantia de ligação entre o uso da camisa e a vitória do time.

A correlação de causa e efeito entre os fatos é falsa e não pode ser estabelecida uma lei para isso. Aquilo que hoje chamaríamos de superstição de torcedor poderia ser transposto para o mundo físico e então chegaríamos à conclusão de que qualquer lei não teria base para ser aceita como verdadeira. Esse raciocínio, denominado de indução[5] fundamenta a criação de leis. Portanto, para Hume era impossível o estabelecimento de leis universais. O ceticismo de Hume recebeu diversas respostas ao longo do tempo.[6]

Essas conclusões tiveram grande influência sobre Kant, que chegou a afirmar ter sido despertado de seu sonho dogmático pelo ceticismo de Hume. Kant, então, procurou dar uma resposta tanto ao empirismo como ao racionalismo criando sua filosofia crítica (KANT, 1980b).

Kant concordou com os empiristas britânicos ao reconhecer que todo o conhecimento nasce da experiência, entretanto, para o filósofo prussiano nem todo o conhecimento era construído a partir da experiência (KANT, 1980a).

Para tanto, utilizaram-se de alguns conceitos. Denominou-os de juízos. Os juízos são formados por duas ideias e uma relação entre elas. Quando afirmamos que *todos os cisnes são brancos,* estamos trabalhando com a ideia de *todos os cisnes*, a ideia de *branco* e sua interligação por meio de um conectivo que é formado pelo verbo *ser*. *Todos os cisnes* é o sujeito da frase e *brancos* é o predicado.

Kant (1980a) afirmou que os juízos poderiam ser divididos em quatro classes.

Juízos analíticos – são aqueles em que o predicado não acrescenta nenhuma nova informação ao sujeito.

Exemplo: Todo triângulo tem três ângulos

A própria ideia de triângulo já contém a existência desses três ângulos.

Juízos sintéticos – são aqueles em que o predicado acrescenta uma nova informação ao sujeito.

Exemplo: a água ferve a 100 graus centígrados nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTPs).

[5] Se é verdadeira para um número finito de ocorrências será verdadeiro para todas as ocorrências.
[6] Uma delas será dada por Karl Popper no século XX com o falsificacionismo.

O predicado acrescenta uma informação nova ao sujeito. Em outras condições, a água poderia ferver em outra temperatura.

Juízos a posteriori – são aqueles em que o predicado é extraído da interação do homem com o meio externo. No nosso caso, derivam da experiência.

Juízos a priori – são aqueles que já existem independentemente da experiência.

Kant afirmou que, até então, na filosofia se acreditava que todos os juízos sintéticos fossem *a posteriori*. Portanto, todos os juízos onde os predicados acrescentassem novas informações aos sujeitos seriam obtidos através da experiência. No exemplo acima, a conclusão da temperatura de ebulição da água era uma afirmação experimental. Não poderíamos intuir isso sem realizar uma experiência para verificar. Por outro lado, todos os juízos analíticos eram a priori, já que se restringiam ao mundo das ideias.

O grande salto proposto por Kant foi afirmar que existiriam juízos sintéticos *a priori*. Logo, poderiam existir predicados que acrescentariam conhecimento ao sujeito, mas que existiriam na mente humana. Portanto, existiriam ideias na mente humana que seriam impostas à natureza a partir da interação homem-natureza. Essa era a chave de construção da lei.

Podemos exemplificar pensando na primeira lei de Kepler que diz que as órbitas dos planetas são elípticas. Essa afirmação é a união de uma ideia abstrata (elipse), construída pela razão humana, com a observação do posicionamento dos planetas no céu a partir da Terra.

Com isso, Kant procurou responder ao problema levantado por Hume. Para o empirista Hume, essas correlações não poderiam ser feitas porque eram metafísicas, pois não haveria qualquer garantia de sua validade por serem construções mentais. Para Kant, ela nasceria de um conhecimento apriorístico verdadeiro, de base matemática, mas surgiria da interação homem-natureza a partir da observação e do experimento.

Kant procurou resolver a questão da impossibilidade da existência de uma lei científica proposta por Hume.

Uma das mais importantes respostas dadas ao problema do indutivismo, colocado por Hume, veio somente no século XX com Karl Popper. Sua resposta concorda, em parte, com Hume. A repetição de um mesmo evento diversas vezes não dá garantias à universalidade de uma lei *(modus ponens*).

Segundo Popper, só teríamos realmente certeza da sua não validade (*modus tollens*). Ao observarmos um cisne branco, temos certeza de que aquele fato singular do cisne ser branco é verdadeiro. Ao observarmos vários cisnes brancos, poderia levar-nos a afirmar que todos os cisnes são brancos apenas como uma verdade local e temporal. Somente a observação de um cisne negro nos garantiria a falsidade da afirmação, pois nem todos os cisnes seriam brancos.

Nunca conseguiremos estar seguros da universidade e atemporalidade de uma lei. Toda lei teria caráter hipotético, sendo, portanto, contingente. Com essa lógica, um experimento nunca provará que uma lei ou teoria é verdadeira. Mas poderá prová-la falsa.

Outra característica do pensamento de Popper é de que uma afirmação para ser considerada científica deve permitir a prova de sua falsidade na própria afirmação. Logo, uma lei científica deve ter sempre a possibilidade de ser falseada. Sua veracidade será função de não se ter conseguido ainda provar sua falsidade. Em ciência experimental, significa dizer que a afirmação deverá possibilitar a prova experimental de sua falsidade. A afirmação do tipo: *Deus existe* não se encontra no campo científico. Não se pode provar que sim ou não por meios lógicos e experimentais.

Natureza da Ciência no laboratório didático

O laboratório didático tem um papel de grande importância a cumprir na formação de visões mais complexas sobre a Natureza da Ciência, mediante um quadro de grandes discussões sobre questões epistemológicas relativas ao papel da experimentação na construção do conhecimento científico.

Esse papel não só aponta para um caráter formador da cidadania, numa melhor compreensão da importância da ciência no mundo moderno, mas também para um caráter técnico, pois entender melhor algumas das ferramentas com que se trabalha no laboratório é de grande importância para aqueles que virão a fazer ciência ou trabalhar com a tecnologia de forma profissional.

Propiciar momentos de reflexão sobre a prática científica num ambiente laboratorial é fundamental para todos.

Problematizar alguns conceitos como o de lei ou de observação é um dos caminhos possíveis que pode trazer uma gama enorme de discussões para a atividade experimental. Quase todas as atividades laboratoriais giram em torno das leis e a observação é um dos fundamentos para sua construção.

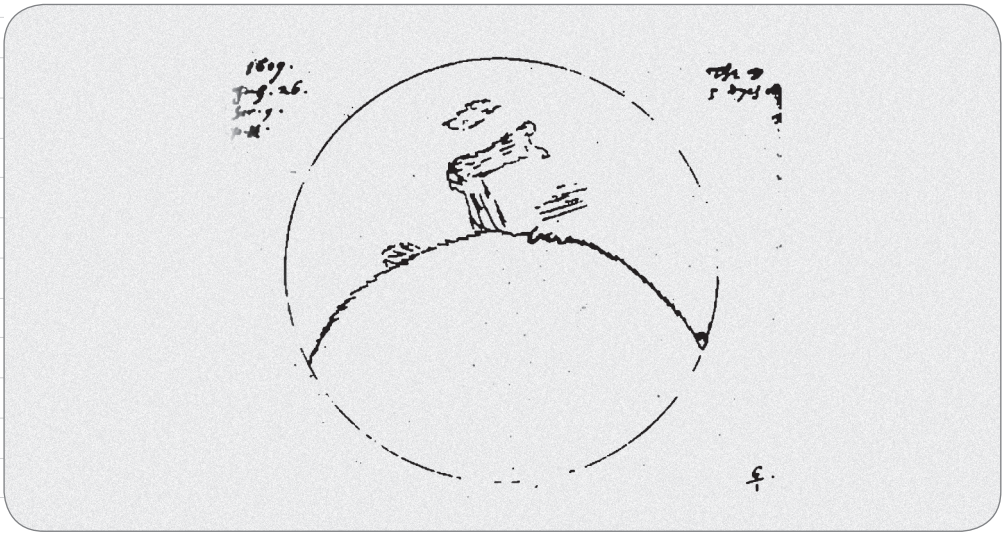
Para tanto, vamos propor a realização duas atividades que podem ser desenvolvidas tanto num laboratório didático como em aulas experimentais em salas de aula.

Atividade 1 – O que é a observação?

Para começar a problematizar o que vem a ser observação, podemos começar apresentando duas Figuras.

Devemos apresentar a primeira, discuti-la, e só depois apresentar a segunda.

Figura 1 – Primeira figura apresentada para dar início à discussão



Fonte: Edgerton Jr. (1991).

A questão que deve dar início à discussão é:

o que significa essa Figura? (Figura 1).

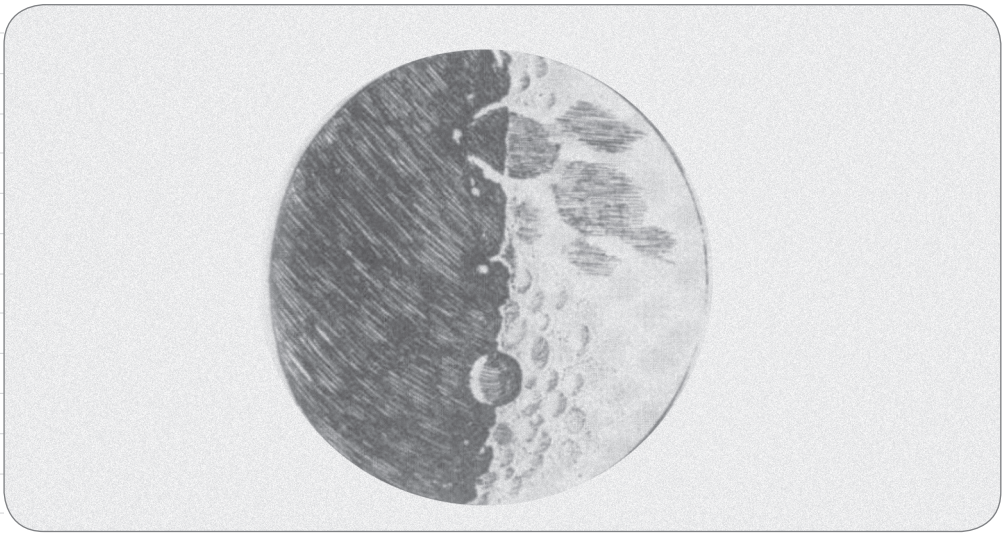
Quando realizada junto a professores de Biologia, pudemos constatar que alguns professores disseram parecer a observação de uma colônia de bactérias com um microscópio.

Alunos de uma escola de Ensino Médio disseram parecer um eclipse.

O fato de estar numa aula de ciências já induz a essas respostas, limitando as possibilidades. Logo, nosso olhar já é previamente direcionado por uma expectativa.

Em seguida apresentamos a Figura 2.

Figura 2 – Segunda figura apresentada aos alunos



Fonte: Sidereus Nuncius (1610) – Biblioteca Nazionale – Firenze/Italia.

Com certeza todos concordarão que é um satélite natural, algum asteróide ou planeta.

Na realidade é a Lua vista em 1610. Ambas são desenhos da Lua feitos nesse mesmo ano por dois astrônomos diferentes a partir do uso de lunetas similares. A primeira é do astrônomo inglês Thomas Harriot, apresentada no manuscrito Petworth. A segunda é de Galileu Galilei e foi publicada no Sidereus Nuncius em 1610.

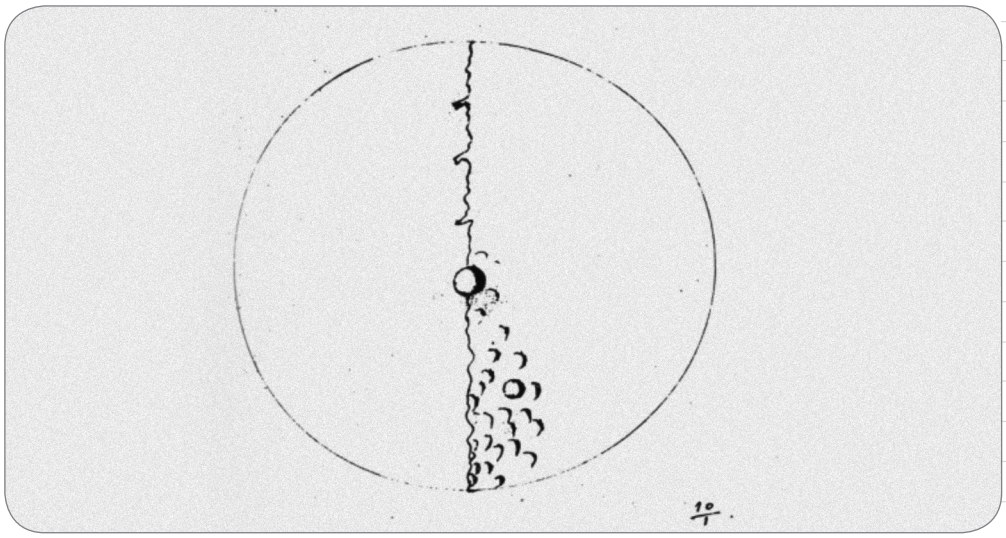
A partir dessa primeira apresentação iniciamos uma discussão.

Harriot e Galileu olharam para a mesma Lua, entretanto não viram a mesma coisa. Observar é a junção dessas duas ações: olhar + ver. A Lua de Harriot é esférica, com uma superfície lisa, mas manchada. Na Lua de Galileu, a superfície não é lisa e as manchas representam sombras de montanhas ou crateras.

Galileu vivia na Itália em pleno auge do Renascimento. As técnicas da perspectiva já estavam bastante desenvolvidas, e diversos pintores utilizavam-na. O olhar de Galileu já percebia a tridimensionalidade daquilo que era representado no plano (EDGERTON JR.,1991).

Um dos possíveis argumentos é que esse não é um caso de observação, mas de representação, no papel, daquilo que se estava vendo. Galileu sabia associar claros e escuros de uma figura à tridimensionalidade do espaço, enquanto Harriot não. Realmente, isso é verdade, pois Galileu havia estudado desenho e conhecia as técnicas de claro e escuro para representar sombras. Harriot conheceu os desenhos de Galileu e quatro meses depois da edição do Sidereus Nuncius, em outro manuscrito, redesenhou suas observações da seguinte forma:

Figura 3 – Lua redesenhada por Harriot, após ver os desenhos de Galileu



Fonte: Edgerton Jr. (1991).

O novo desenho de Harriot ainda mostra sua pouca habilidade com a representação da tridimensionalidade do espaço, entretanto demonstra que após ver os desenhos de Galileu sua percepção daquilo que foi observado mudou (EDGERTON JR.,1991).

Essa atividade traz diversas questões para serem discutidas. Em primeiro lugar, ela problematiza o próprio ato de observar, que muitas vezes é considerado de grande objetividade pela maioria das pessoas. Não observamos apenas com os olhos, mas também com a razão.

Nesse ponto, uma discussão sobre a proposição de Kant, em relação aos juízos sintéticos, *a priori,* traz algumas questões para serem discutidas tanto pelos professores de ciências naturais como para os de Filosofia.

Nossa interação com os objetos não se dá de forma direta. Nossos olhos recebem informações daquilo que estamos olhando, e essas são filtradas pela razão. A observação deve ser percebida a partir dessa junção.

Uma segunda questão tem a ver com o papel das técnicas na construção da observação. Na época de Harriot, ainda existiam resquícios do aristotelismo, que defendia um mundo supralunar perfeito e imutável, onde os astros eram concebidos como esferas por ser essa a expressão da perfeição geométrica. Harriot observou a Lua como uma esfera de um mundo ainda aristotélico. O olhar de Galileu já havia se modificado.

A questão trazida pelos filósofos do experimento, como Hacking e Galison, de que a teoria também está repleta de influências das técnicas e dos artefatos é um ponto que pode trazer questões a serem pensadas. O entendimento daquilo que foi observado foi grandemente influenciado pelas técnicas de representação que vinham sendo desenvolvidas na época. A Inglaterra ainda não havia vivido nas artes a revolução trazida pelo renascimento italiano. O desenvolvimento técnico italiano foi fundamental para a mudança na concepção e, consequentemente, da observação.

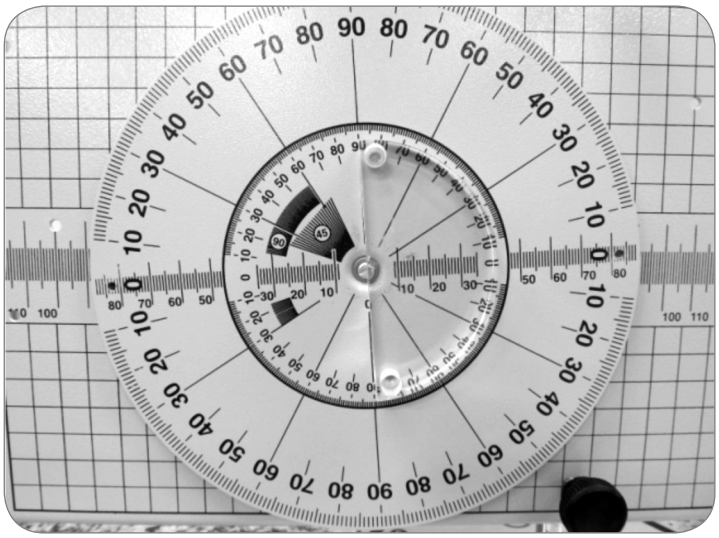
Atividade 2 – As leis são universais?

Uma segunda atividade pode ser desenvolvida a partir de um experimento básico de Física que é a determinação do índice de refração de uma peça de acrílico. Esse experimento visa a comprovar a lei de Snell--Descartes. No que tange à montagem da experiência, pode ser realizada de diversas formas (SÉRÉ; COELHO; NUNES, 2003).

Basicamente, a proposta é realizar medidas de ângulos de incidência e refração aos alunos.

Utilizamos uma fonte *laser* simples, daquelas que são vendidas como apontadores de quadro, um transferidor para medição de ângulos (que pode ser feito de papel) e uma peça em forma semicircular de acrílico transparente.

Figura 4 – Peça de acrílico posicionada sobre o transferidor



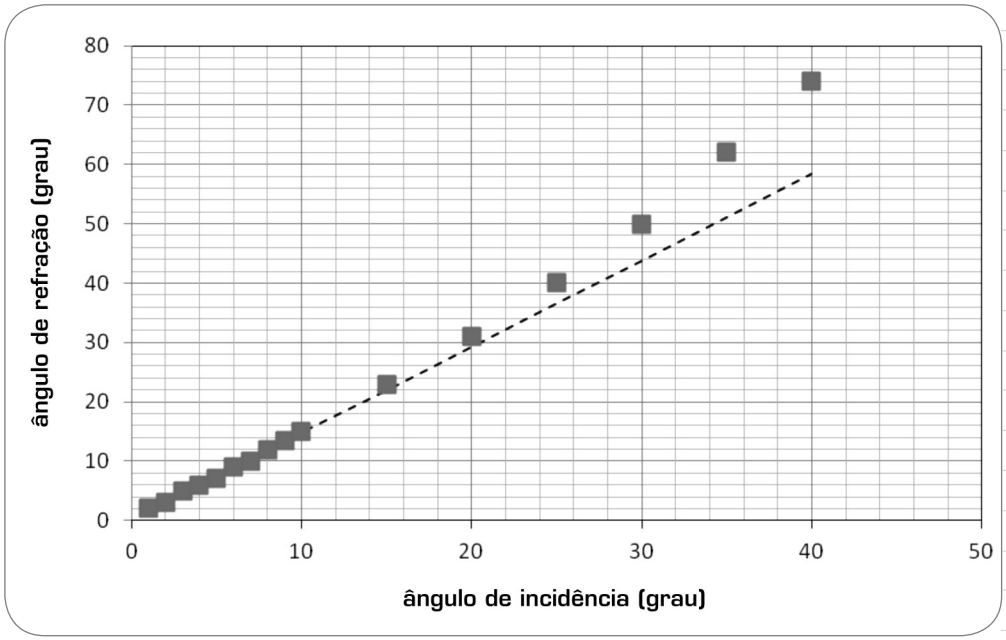
Fonte: foto dos autores realizada no Laboratório de Física do CEFET-RJ.

O esperado é que os alunos conheçam os fundamentos do fenômeno da refração (mudança de velocidade da luz, ao mudar o meio de propagação), mas ainda não tenham estudado a lei de Snell-Descartes.

A primeira proposta é buscar uma lei que correlacione os ângulos de incidência e refração.

Num primeiro momento, propomos aos alunos a determinação dos ângulos de refração para um conjunto de ângulos de incidência entre 0^0 e 10^0. (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Relação entre ângulos de incidência e refração para o acrílico



Fonte: elaborado pelos autores deste artigo.

Se analisarmos os dados na faixa de ângulos sugerida aos alunos, podemos concluir que existe uma função linear correlacionando os ângulos de incidência e refração.

Kepler havia chegado a essa conclusão. Ao estudar a visão humana chegou a propor uma lei da refração em que o ângulo de refração era diretamente proporcional ao de incidência. Para ele, as leis geométricas da ótica eram leis naturais, estabelecidas pelo Criador.

Num segundo momento da atividade experimental, podemos realizar uma extrapolação e determinar qual deveriam ser os valores para ângulos maiores, como 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0 e 40^0.

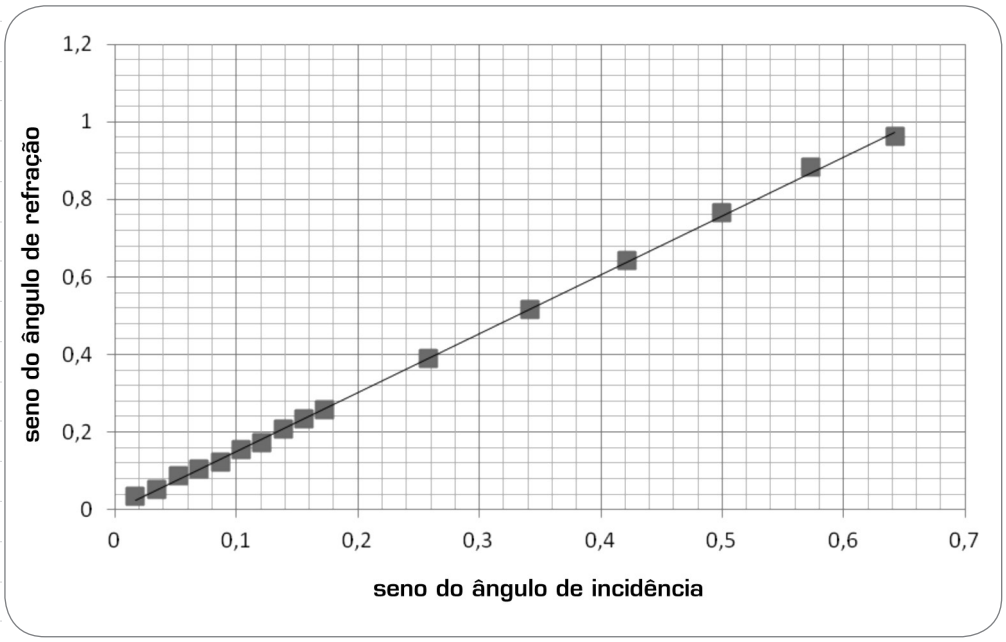
A partir desse ponto, os alunos poderiam continuar a realizar medidas para os valores previstos pela lei da refração de Kepler. Os valores obtidos poderiam ser marcados num gráfico como o anterior e comparados com os previstos.

Essa é uma discussão que, quando travada com alunos, apresenta resultados bastante interessantes. Dentro daqueles limites, a lei dos ângulos de Kepler era válida, no entanto, para ângulos maiores, começam a surgir problemas.

A anomalia encontrada mostrou que a lei não conseguiu prever os valores que deveriam ser encontrados para ângulos maiores. Logo, a lei que valia para determinado intervalo não era válida para ângulos maiores.

A seguir, em continuidade à atividade, deve ser apresentada a lei de Snell-Descartes aos alunos. Utilizando os mesmos dados coletados na primeira experiência, podemos plotar outro Gráfico da relação entre os senos dos ângulos de incidência e refração. (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Relação entre senos dos ângulos de incidência e refração para o acrílico



Fonte: elaborado pelos autores deste artigo.

Podemos perceber que no segundo caso existe uma relação linear entre os senos dos ângulos, e não entre os ângulos.

Algumas questões epistemológicas poderiam ser propostas aos alunos como forma de problematizá-los.

Uma vez que todas as leis são estabelecidas a partir de certo número finito de medidas, como saber que são válidas para todos os valores possíveis? Ou como saber se um fenômeno observado num determinado local é universal?

Essa é a questão básica do indutivismo (LANG; OSTERMANN,2002) e pode ajudar os alunos a problematizar a universalidade das leis. Um desafio coloca-se em relação aos trabalhos dessa discussão com os alunos. Em geral, alunos tendem a abandonar posições bem estabelecidas, quando se mostram inconsistentes, e migrar para seu oposto. Isso significaria dizer que nenhuma lei é válida ou verdadeira. Esse é o desafio da problematização.

Kepler estava correto para um conjunto de valores limitado com que trabalhou. Descartes percebeu sua inconsistência para ângulos maiores e construiu uma nova lei. Ambos estabeleceram leis válidas que estavam estreitamente relacionadas com o aperfeiçoamento dos instrumentos ópticos da sua época e com o desenvolvimento das ferramentas matemáticas disponíveis.

O fato de as leis terem mudado, mostra que essas leis são construções e não estão na Natureza. Logo, as leis mudam à medida que as concepções e os instrumentos vão mudando. Não só como ferramentas de maior precisão, mas como ferramentas de elaboração de novas concepções.

Conclusão

McComas (1998) apresenta[7] 15 mitos sobre a ciência que a educação escolar, normalmente, reforça ou mesmo cria sobre a Natureza da Ciência. Dois deles foram diretamente tratados pelas discussões e atividades propostas neste estudo:

- hipóteses tornam-se teorias que, por sua vez, tornam-se leis;
- leis científicas são absolutas.

A primeira atividade procurou problematizar a observação como elemento objetivo na construção das leis e o papel do contexto nas percepções que temos sobre a natureza. Tanto os aparatos científicos estão repletos de teoria como as teorias estão impregnadas por esses artefatos.

Na segunda atividade, as leis foram problematizadas como *leis da natureza*. Além disso, mesmo que consideradas leis científicas, elas não são

[7] Esse tema é tratado no capítulo denominado: The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the myths in the Nature of Science.

absolutas, podendo também mudar ao longo do tempo, tanto a partir de novos aportes tecnológicos, como de novas observações ou novos paradigmas (KUHN, 1975)

O laboratório é um espaço de grande importância para a reflexão sobre a Natureza da Ciência. Portanto, torna-se fundamental, hoje, que, além de um espaço de aprendizagem de conceitos científicos, o laboratório torne-se também um espaço de reflexão sobre a ciência. Problematizar esses mitos não é substituí-los por algo que possa parecer aos alunos ser a *concepção correta*. Isso seria criar um novo mito. O objetivo é levar os estudantes a quebrá-los, substituindo uma visão ingênua por outra mais complexa. A complexidade está em fazer o aluno compreender que diversos atores e cenários entram em cena na construção do conhecimento científico.

O laboratório deve ser considerado um espaço de problematização do próprio laboratório. Muitos estudantes acreditam, seguindo o tradicional método científico, que o conhecimento começa com a observação, ou que existe total objetividade dessa observação no laboratório durante os experimentos.

Ao realizar experimentos e refletir sobre seu significado na construção do conhecimento científico, os alunos tenderão a colocar em xeque tal concepção. Repensar as certezas que foram aprendidas no passado é uma forma de reaprender e de perceber que tudo pode ser questionado e pensado de outra forma

A visão complexa preconiza perceber a ciência não como uma atividade simples, em que somente fatores lógicos ou racionais devam ser considerados. A visão complexa quebra com esses mitos, que, normalmente, são simplórios e não consideram décadas de recentes discussões acerca da construção do conhecimento científico.

Referências

AIKENHEAD, G. High-school graduates' beliefs about science-technology society. II. Characteristics and limitations of scientific Knowledge. *Science Education,* 71(4), 459–487, 1987.

BLOOR, D. Knowledge and social imagery. London: Routledge, 1976.

ECHEVERRIA, J. *Filosofia de la Ciencia.* Madril: AKAL, 1995.

ECHEVERRIA, J. *Introdução à Metodologia da Ciência*. Coimbra: Almedina, 2003.

EDGERTON JR., S. *The Heritage of Giotto's Geometry.* Ithaca Cornell University Press, 1991;

EL-HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. – Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências,* v. 9 (3) p. 265-313, Porto Alegre, 2004.

GALISON, P. *Os relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré* – impérios do tempo. Lisboa: Gradiva, 2005. 397 p.

GALISON, P. *How Experiments End*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987.

HACKING, I. *Representing and Intervening:* Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science. New York: Cambridge University Press, 1983.

HUME, D. *Investigação sobre o entendimento humano.* São Paulo: Ed. Escala, 2008.

KANT, I. *Crítica da razão pura.* São Paulo: Abril Cultural, 1980a. Coleção: Os pensadores.

KANT, I. *Prolegõmenos.* São Paulo: Abril Cutural, 1980b. Coleção: Os pensadores.

KUHN, T. S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva, 1975.

KUHN, T. S. *A tensão essencial.* Lisboa: Edições 70, 1989.

LANG, F. A Teoria do Conhecimento de Kant: o idealismo transcendental. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, nº especial, Florianópolis, UFSC, 2002.

LANG, F.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 19, nº especial, Florianópolis, UFSC, 2002.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *Laboratory life:* the construction of scientific facts. Princeton. Princeton University Press, 1986.

LEDERMAN, N. G. Students and teachers conceptions of Nature of Science: a review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, (29), 331-359, 1992.

LEDERMAN, N. G.; ABD-El-KHALICK, F.; BELL, R. L.; E. SCHWARTZ, R. S. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 497–521, 2002.

McCOMAS, W. F. The Nature of Science in Science Education: rationales and strategies. Dordrecht: Kluwer Academics Publishers, 1998.

McCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education,* (17) : 249-263, 2008.

POPPER, K. A lógica da pesquisa científica. São Paulo: Cultrix/Ed. USP, 1975.

POPPER, K. *Conjecturas e refutações.* Brasília: Ed. UnB, 1980.

RUTHERFORD, F. J.; AHLGREN, A. *Science for all Americans.* New York: Oxford University Press/AAAS, 1985.

SÉRÉ, M.; COELHO, S. M. NUNES, A. D. O papel da experimentação no Ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 20, n. 1, Florianópolis, UFSC, 2003.

SERRES, M. Elementos para uma História das Ciências, 3 v. Lisboa: Terramar, 1996.

TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR, O. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência, de estudantes de Física. *Ciência & Educação*, v. 15, p. 529-556, Bauru, UNESP, 2009.

VAZQUEZ A.; MANASSERO, M. A. Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología y la sociedad. *Enseñanza de las ciencias*, 20(1), p. 15-27, Barcelona, UAB, 2001.

HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A AÇÃO DOCENTE: A PERSPECTIVA DE LUDWIK FLECK

CAPÍTULO 9

Nadir Castilho Delizoicov
Demétrio Delizoicov

Introdução

A natureza do conhecimento científico representa um dos aspectos fundamentais na formação dos estudantes dos cursos de Ciências da Natureza. A perspectiva tanto histórica quanto filosófica do empreendimento científico está de distintas formas presente nos currículos desses cursos. Quando não abordada em disciplinas específicas, está presente, de modo implícito, na medida em que concepções sobre a natureza do conhecimento científico permeiam as práticas e os discursos docentes, ou seja, são veiculadas de forma tácita, e muitas vezes acrítica, por meio do que tem sido denominado de currículo oculto (GIROUX, 1986).

Os desdobramentos de discussões e reflexões de cunho histórico epistemológico nesses cursos, particularmente naqueles que se destinam a formar professores das Ciências da Natureza, têm seu papel, pois podem contribuir para compreensões filosoficamente consistentes e fundamentadas do processo de produção do conhecimento científico e uso dos mesmos.

Hoje, a educação científica, mais do que contribuir para a formação de futuros cientistas, necessita priorizar aos sujeitos uma adequada compreensão do desenvolvimento da produção do conhecimento científico e dos seus conceitos, como forma de instrumentalizar os cidadãos para que possam exercer a cidadania de forma mais consciente e consistente. De acordo com Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), o cidadão deve ter condições para tomar decisões sobre o uso dos resultados dos conhecimentos produzidos.

A preocupação com a natureza do conhecimento científico tem sido uma constante entre pesquisadores da área de ensino das ciências naturais, levando muitos deles, há algum tempo, a exemplo de Harres (1999), Gil-Pérez et al. (2001), Borges e Borges (2001), Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), Guisasola e Morentin (2007), Moreno e Gatica (2010) a realizarem estudos focalizando as concepções de professores das ciências naturais sobre a natureza da ciência. Os resultados desses trabalhos indicam que muitos docentes detêm uma concepção empirista/indutivista da produção do conhecimento científico.

Entre outras consequências de uma caracterização pouco consistente sobre a ciência, há predominância de uma visão aproblemática e ahistórica, visão cumulativa e de crescimento linear, visão individualista e elitista além de uma visão descontextualizada e socialmente neutra da ciência (GIL-PÉREZ et al., 2001).

A discussão desses aspectos está cada vez mais presente em trabalhos que possuem distintos fundamentos histórico-epistemológicos, bem como têm objetivos e finalidades diversas. São exemplos as contribuições de Bizzo (1992; 1993), Matthews (1994), Giordan e Vecchi (1996), Slongo (1996), Mayr (1998), Peduzzi (2001), Santos (2003), Reis e Galvão (2006) e Pereira e Amador (2007), Scoaris, Benevides-Pereira e Santin (2009) entre outros.

De forma geral, esses autores entendem que a inserção da História e Filosofia da Ciência nos currículos dos cursos relacionados às ciências naturais pode ajudar professores e alunos a melhorarem as respectivas concepções sobre a natureza do conhecimento científico. Essa inserção pode contribuir para se compreender os momentos em que ocorrem profundas transformações da Ciência e de suas teorias, bem como reconhecer a necessidade de paciência e persistência para que um conhecimento seja aceito, além de desmistificar o saber dogmático, fechado e pronto.

Por outro lado, tem sido destacado (PEDUZZI, 2001; SLONGO, 2003) que no Brasil há carência de publicações que subsidiem o trabalho docente para a abordagem didático-pedagógica da História e Filosofia da Ciência nos vários níveis de ensino. Isso, certamente, é um dos motivos que interferem na veiculação fundamentada e consistente sobre concepções da Ciência e do conhecimento científico.

Ao longo da história educacional brasileira, os livros didáticos constituíram-se em uma das principais fontes de consulta para professores e alunos, durante o processo de ensino e de aprendizagem, no entanto, na maioria desses materiais, a História da Ciência está ausente. Em geral, os livros didáticos veiculam informações sobre dados históricos descontextualizados socialmente, conforme testemunham alguns trabalhos realizados por pesquisadores brasileiros, tais como: Batista, Mohr e Ferrari (2007), Batisteti et al. (2007); Lima, Carneiro e Batisteti (2007); Delizoicov (2002). Situação semelhante foi detectada em Portugal no trabalho de Pereira e Amador (2007). Esses autores tiveram como foco a História da Ciência em livros didáticos destinados a alunos com idade entre 10 e 11anos

Pereira e Amador (2007) apontam para a necessidade de se incluir a História da Ciência nos currículos dos cursos de formação de professores para que os futuros docentes tenham consciência da influência de aspectos sociais, econômicos, políticos, religiosos, entre outros, sobre a prática científica. Essa recomendação é pertinente, pois, como alerta Zanetic (1988), a História e Filosofia da Ciência, quando inserida na formação do professor, de alguma forma, estará presente nas salas de aula.

Como consequência dessas investigações e da consciência das lacunas detectadas, têm havido recentemente no Brasil iniciativas de publicações com o objetivo de contribuir e incentivar a inserção da História e Filosofia da Ciência, tanto na formação do professor quanto nas atividades por ele desenvolvidas na sala de aula. Na sequência, apresentam-se brevemente alguns desses trabalhos.

Subsídios para uma abordagem histórica no ensino das ciências naturais

Nardi (2004) e Silva (2006) organizaram duas coletâneas de trabalhos disponibilizados para professores, tanto do Ensino Superior quanto do Ensino Básico.

A publicação de Nardi (2004) consiste em um número de revista especialmente organizado com caráter temático, onde estão reunidos artigos relacionados à "Epistemologia, História e Filosofia da Ciência e suas relações com a Educação em Ciências". A variedade de artigos que compõe a revista revela a pluralidade de enfoques presentes nas pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no Brasil e em alguns países do exterior, sobre a articulação da História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências.

Ao todo são vinte artigos e podem ser agrupados em três eixos, consoante Nardi (2004, p. 9):

1) Reflexões Epistemológicas e Filosóficas sobre a Ciência;

2) A Historiografia da Ciência;

3) Propostas e Resultados de Inserção da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências.

Nesse terceiro eixo os artigos, em sua maioria, conforme explicita Nardi (2004, p. 9) têm como propósito "relatar propostas ou tentativas de intervenção na sala de aula". Nota-se nos artigos que a abordagem histórica epistemológica, em suas várias concepções, tem como foco privilegiado os cursos de formação de professores.

A segunda coletânea referida anteriormente consiste em um livro organizado por Silva (2006). Segundo a autora, a publicação é destinada a professores e alunos, tanto do Ensino Médio como do Ensino Superior e, ainda, a pessoas que se interessam pelo Ensino de Ciências. O objetivo é "possibilitar uma reflexão sobre o âmbito em que se dá a construção da ciência". (SILVA, 2006, p. 10). O livro é composto por trabalhos cujas reflexões giram em torno da

> [...] natureza da ciência e seus métodos, a relação entre ciência e seu contexto social, erros históricos presentes em livros didáticos, história de alguns assuntos ensinados na escola, desmistificação de grandes cientistas, exemplos e relatos de aplicação da história e filosofia da ciência em sala de aula. (SILVA, 2006, p. 10).

Essas questões são abordadas ao longo de dezoito capítulos distribuídos em quatro partes. A parte I – Epistemologia – comporta quatro capítulos; a parte II – Física – contém sete capítulos; a parte III destina-se a temas da Biologia; e, finalmente, a parte IV, denominada *Outros*, com-

porta dois temas, um deles sobre aspectos da teoria da matéria e o outro se refere à abordagem histórica sobre a resolução da equação do 2º grau.

Braga, Guerra e Reis (2007) produziram uma série de cinco volumes denominada *Breve História de Ciência Moderna*. Essa publicação subsidia tanto a ação docente quanto o estudo de alunos do Ensino Médio.

Com a mesma intenção desses trabalhos referidos, esse capítulo pretende contribuir para uma reflexão epistemológica na medida em que, a exemplo de Badillo, Miranda e Torres (2009); e Ostermann, Cavalcanti, Ricci e Prado (2008), tem como foco um episódio da História da Ciência e aponta aspectos que permitem problematizar visões da ciência e podem auxiliar no planejamento de atividades didáticas que incluem uma abordagem histórico-epistemológica, particularmente na formação de professores.

Dados de pesquisa (DELIZOICOV, N. ERN, 2003; DELIZOICOV, N., 2002), conforme apresentados no próximo item, evidenciam problemas enfrentados por professores de ciências e de biologia da educação básica com o ensino do funcionamento do coração sempre que o mesmo é analogicamente comparado a uma bomba. Entre outros motivos, esses professores desconhecem o contexto histórico em que essa analogia foi utilizada.

Tal analogia, conforme será analisada neste trabalho, é decorrente da emergência da perspectiva mecanicista surgida com a Ciência Moderna. Harvey ([1628] 1999) propôs o modelo da circulação sanguínea para o qual utilizou a analogia bomba hidráulica e coração. A adoção dessa perspectiva deu-se devido à intensa interação (BERNAL, 1976) com a produção científica oriunda da nascente Ciência Moderna, com a qual estava sintonizado para efetivar suas práticas científicas, bem como compartilhar seus pressupostos.

O papel representado pelas interações de Harvey com o legado do renascimento italiano, com a emergência de uma visão mecânica para a compreensão do corpo e dos demais fenômenos naturais e, ainda, com aquelas oriundas da sua permanência na universidade de Pádua, considerada o maior centro científico daquela época, será objeto, neste artigo, de uma análise histórico-epistemológica com o auxílio de categorias presentes na proposta epistemológica de Ludwik Fleck ([1935]1986).

Ludwik Fleck (1896-1961), que publicou, em alemão, o livro *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*, em 1935, o qual foi traduzido para o espanhol como *La Gênesis y el Desarrollo de um Hecho Científico* (FLECK, 1986), tem proposição epistemológica contemporânea à de Popper e Bachelard e, como esses, assume posição crítica em relação ao empirismo lógico.

A teoria do conhecimento concebida por esse autor tem fundamentado alguns trabalhos que se dedicaram à História e Filosofia da Ciência e ensino, tais como: Castilho (1999) que tem como foco o modelo de Galeno para o movimento do sangue no corpo humano; de Leite, Ferrari

e Delizoicov, D. (2001) sobre as leis de Mendel; de Delizoicov, N (2002), Delizoicov, N. et al. (2004) e Delizoicov, N. (2006) que analisam a origem do modelo da circulação sanguínea humana; os de Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) e Ferrari e Scheid (2006) que consideram as pesquisas da equipe interdisciplinar que culminaram com a proposição do DNA; Delizoicov (2009) sobre a formulação da Mecânica Quântica.

A analogia coração-bomba na formação do professor

O ensino descontextualizado historicamente da analogia coração-bomba pode ser evidenciado em algumas de suas manifestações. Delizoicov, N. (2002), ao examinar manuais de fisiologia e de anatomia humana, verificou que os mesmos não contemplam a dimensão histórica do estudo do movimento do sangue no corpo humano. A analogia é apresentada desprovida de qualquer contextualização histórica. Seguem dois exemplos, um referente ao livro de Anatomia Humana e o outro relativo ao livro de Fisiologia Humana, ambos subsidiaram a formação dos professores entrevistados.

> O sistema circulatório é um sistema fechado, sem comunicação com o exterior, constituído por tubos, [...] chamados vasos e os humores são o sangue e a linfa. Para que estes [...] possam circular através dos vasos, há um órgão central – o coração, que funciona como uma bomba contrátil-propulsora. Sendo um sistema tubular hermeticamente fechado, as trocas entre o sangue e os tecidos vão ocorrer em extensas redes [...] os capilares. (DANGELO; FATTINI, 1984, p. 89).

> O coração [...] é na realidade formado por duas bombas distintas: o coração direito, que bombeia o sangue pelos pulmões, e o coração esquerdo, que bombeia o sangue para os órgãos periféricos [...] o átrio funciona, em grande parte, como uma fraca bomba [...] O ventrículo [...] fornece a força principal que propele o sangue pela circulação pulmonar ou periférica. (GUYTON; HALL, 1997, p. 97).

Embora esses manuais apresentem detalhes que permitam aos futuros professores pressuporem que a função do coração está sendo comparada à função de uma bomba hidraúlica, a transposição dessa informação para os livros didáticos de ciências e de biologia destinados a alunos da Educação Básica requer cuidados e procedimentos que a tornem compreensível.

No exame de livros didáticos destinados aos alunos do Ensino Fundamental e médio, a analogia coração-bomba também (DELIZOICOV, N., 2002) é apresentada sem justificativa para o seu uso e sem uma contextualização histórica que permita a compreensão da sua gênese. Há expressões que deixam subentendido que se está fazendo uso de uma analogia, mas não apresentam as relações analógicas que podem ser es-

tabelecidas entre o coração e uma bomba hidráulica, como é o caso das citações apresentadas a seguir:

> O Coração é um órgão de paredes musculosas grossas [...] que atua como bomba premente propulsora do sangue para todo o corpo. (SOARES, 2001, p. 135).

> O sistema circulatório é constituído por extensa rede de vasos conectada a uma bomba propulsora de sangue, o coração. (GOWDAK; MATTOS, 1991, p. 251).

> O coração funciona como uma bomba que se contrai e se relaxa ritmicamente. (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 1998, p. 317).

Por outro lado, resultados da análise de entrevistas (DELIZOICOV, N., 2002; DELIZOICOV, N.; ERN, 2003) realizadas junto a professores de ciências e de biologia da Educação Básica evidenciaram que os professores desconhecem o contexto histórico no qual o coração foi comparado a uma bomba hidraúlica, o que os leva a simplesmente apresentarem a analogia aos alunos. A apresentação da analogia *coração-bomba* de forma descontextualizada historicamente permite ao leitor fazer as associações que desejar e em muitos casos inadequadas, por exemplo, imaginar que há algo similar a uma bomba no peito que poderá estourar a qualquer momento, conforme a argumentação de um dos professores entrevistados, aos quais denominamos de forma fictícia: Professor A e Professorr B, preservando-lhes a real identidade.

> [...] não é de gente que eles estão falando [...] uma poderosa bomba me pareceu uma expressão bélica [...] imagina uma bomba dentro do teu peito parece que vai estourar a qualquer hora (Professor A).

> A impressão que dá quando tu fala de bomba é uma coisa que explode [...] para a gente pode parecer uma coisa boba mas para o aluno faz diferença [...] uma bomba pronta imbatível [...] eu uso o termo e provavelmente para o aluno passa despercebido [...] (Professor B).

Conforme Fleck (1986) e destacado por Sutton (1996), no estilo de pensamento moderno certos termos tornaram-se tão familiares que são utilizados sem que se questione sua origem.

Segundo informações fornecidas pelos docentes entrevistados (DELIZOICOV, N., 2002; DELIZOICOV, N.; ERN, 2003), na formação acadêmica inicial não foi considerada a dimensão histórica e epistemológica do processo de produção do conhecimento, conforme os exemplos dos professores E; e C: "era bom o professor ter esse conhecimento [...] qualquer indagação do aluno ele pode responder". (Professor E).

> [...] essa parte histórica [...] não teve [...] mas isso seria ótimo se tivesse [...] quando o professor começa com uma abordagem histórica daquilo que ele vai abordar, para mim, torna a aula muito mais agradável (Professor C).

O professor E declarou que a inserção da História da Ciência seria interessante somente nos cursos de formação de professores, mas não para os alunos.

Todos os professores entrevistados declararam completo desconhecimento sobre a relação de Cláudio Galeno e William Harvey com os conteúdos do sistema circulatório humano, o que demonstra a ausência da História da Ciência na formação desses professores.

Textos destinados a professores das Ciências da Natureza, bem como aos seus formadores, e que abordam episódios da História da Ciência, tal como a da analogia coração-bomba, precisam ser produzidos para suprir lacunas como as detectadas. Alguns exemplos dessas possibilidades que exploram alguns episódios, fundamentando-se na perspectiva epistemológica de Fleck (1986), são referenciados nos próximos itens.

Análise histórico-epistemológica de episódios da História da Ciência

Encontram-se, mais diretamente relacionados ao desafio de se promover reflexões histórico-epistemológicas em processos educativos, particularmente naqueles que formam professores, os seguintes textos que, ao terem como referência a epistemologia de Fleck, articulam as análises realizadas com proposições e considerações didático-pedagógicas: Leite, Delizoicov, D. e Ferrari (2001); Delizoicov, N (2002); Delizoicov, N. et al. (2004); Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005); Delizoicov, N. (2006) e Ferrari e Scheid (2006); Delizoicov (2009).

Tais trabalhos apresentam e exploram episódios históricos a partir de uma perspectiva epistemológica, segundo a qual as observações e os experimentos são efetivados tendo presente pressupostos incorporados pelo sujeito, que contribuem para a produção de conhecimentos e que não se reduzem apenas ao uso da lógica no tratamento dos dados empíricos, conforme defende a concepção do empirismo lógico. Naquela perspectiva epistemológica, a qual caracteriza fundamentalmente a concepção fleckiana, os pressupostos do sujeito que enquadram os observáveis são (ou virão a ser, devido à formação) compartilhados socioculturalmente no processo de formação e têm origem histórica, fazendo a mediação da interação, quer de um indivíduo em particular, quer de grupos de indivíduos com os objetos e problemas de investigação.

Essa concepção epistemológica ao ser abordada numa perspectiva didático-pedagógica auxilia na problematização das visões aproblemática

e ahistórica; cumulativa e de crescimento linear; individualista e elitista; descontextualizada e socialmente neutra da Ciência, que são construídas por professores das ciências, conforme tem sido detectado pelas pesquisas.

De fato, Fleck, em seus escritos, contrapõe-se ao modelo empirista-positivista. A realidade para ele não se constituí enquanto reflexo do objeto obtido por um sujeito neutro, ao contrário, Fleck atribui ao indivíduo um papel ativo no qual a relação do sujeito com o objeto é recíproca, no entanto, segundo argumenta, não há apenas uma relação bilateral entre sujeito-objeto, pois, um terceiro fator, o *estado do conhecimento*, compõe essa relação cognoscitiva. Esse terceiro fator corresponde às relações históricas, sociais e culturais que marcam o estilo de pensamento compartilhado pelo coletivo de pensamento (FLECK, [1935]1986) e faz a mediação das interações sujeito-objeto.

Para Fleck, ([1935]1986), a ciência não é uma construção formal, mas uma atividade levada a cabo por comunidades de investigadores. O conhecimento está intimamente ligado a pressupostos e condicionamentos históricos, antropológicos e culturais, relacionando-se, assim, às convicções empíricas e especulativas que unem os indivíduos. O conhecimento só é possível sob certas pressuposições, sob hábitos de estilos de pensamento que mediatizam a constatação das características do observado. "O conhecer representa a atividade mais condicionada socialmente da pessoa e o conhecimento é a criação social por excelência." (FLECK, [1935]1986, p. 89). Fleck introduz, "uma nova concepção histórica e social da ciência" conforme destaca Lorenzano (2004, 92). Já nos anos 20 do século passado, esse médico epistemólogo antecipa em dois dos seus primeiros artigos sobre epistemologia (FLECK, [1927]1990; [1929]1986) ideias aprofundadas em seu livro publicado em alemão, em 1935.

Suas concepções começam a ser divulgadas posteriormente. Thomas Kuhn reconhece, mesmo que em uma citação passageira no prefácio do livro *A estrutura das revoluções científicas*, publicado em 1962, a influência que Fleck teve sobre suas ideias.

Com a publicação da tradução em inglês do livro de Fleck, em 1979, cuja apresentação é feita por Kuhn, este epistemólogo polonês passa a ser melhor conhecido na Europa e traduzido para outras línguas, tendo sido publicado também em português, recentemente, no Brasil (FLECK, 2010). No início dos anos 1980, um congresso sobre suas posições epistemológicas e trabalhos foi realizado, originando a densa publicação, *Cognition and Fact* (COHEN; SCHNELLE, 1986), sobre os desdobramentos do uso das concepções de Fleck, que passa, então, a ser considerado o pioneiro na abordagem construtivista e socialmente orientada sobre História e Filosofia da Ciência (COHEN; SCHINELLE, 1986; LÖWY, 1994).

São vários os trabalhos que procuram estabelecer relações entre as ideias contidas no livro de Kuhn: *A Estrutura das Revoluções Científicas*, publicado em 1962, e aquelas contidas no livro *La Génesis y el Desar-*

rollo de un Hecho Científico (FLECK, [1935] 1986). Em Delizoicov, D. et al. (2002), por exemplo, argumenta-se sobre a semelhança entre algumas das categorias utilizadas por esses dois autores. Em Condé (2005) encontra-se uma crítica a Kuhn pelo pouco diálogo que manteve com a obra de Fleck e, além de estabelecer uma análise entre paradigma e estilo de pensamento, fornece argumentos sobre os impasses trazidos pela obra de Kuhn quanto aos conceitos de mudança de paradigma e incomensurabilidade dos paradigmas.

Entre outras categorias presentes nas análises que Fleck realiza no seu livro de 1935, são as seguintes que, basicamente, têm fundamentado os trabalhos referidos ao longo deste artigo: estilo de pensamento, coletivo de pensamento, circulação intercoletivo e intracoletivo de ideias e complicações. Neste capítulo, uma caracterização, bem como o uso dessas categorias serão abordados.

Um ponto fundamental a ser compreendido é que o uso da locução adjetiva de pensamento pode parecer inadequado para dar uma característica às categorias de estilo e de coletivo. Isso porque, de fato, dizem respeito a ações e intervenções efetivamente realizadas pelos sujeitos que formam os coletivos de pensamento, ao compartilharem um determinado estilo. Assim, o estilo de pensamento refere-se a conhecimentos e práticas efetivamente compartilhados por coletivos.

Um estilo de pensamento, segundo Fleck ([1935]1986), só tem legitimidade se for compartilhado por um coletivo de pensamento. Este, só se estabelece como tal a partir da adesão de seus integrantes a um modo de pensar, de agir, de enfrentar e de resolver problemas. O coletivo de pensamento é, portanto, o portador comunitário de um estilo de pensamento. Fleck argumenta, ainda, que o coletivo de pensamento não deve ser entendido como um grupo fixo ou uma classe social, mas sim como um conceito mais funcional do que substancial.

Há grupos que se tornam estáveis por um longo período, adquirem uma estrutura formal e o estilo de pensamento torna-se fixo. São estes coletivos que abrigam a ciência enquanto uma estrutura específica, coletiva e intelectual. Assim, ele sustenta que, quanto mais um coletivo de pensamento é especializado em seu conteúdo e problemas que investiga, mais fortes são os vínculos de pensamento que unem seus componentes.

O estilo de pensamento, portanto, comporta, de modo estruturado, uma visão de mundo, um sistema fechado de crenças, um corpo de conhecimento que, além de elementos teóricos, caracteriza-se por uma linguagem própria e práticas específicas. O estilo de pensamento é determinado psico-socio-historicamente no processo de investigação dos problemas pertinentes. A apropriação do estilo de pensamento, pelos indivíduos, ocorre no processo de formação destes, passando a direcionar a observação e constituindo-se no elemento estruturador das conexões entre o sujeito e o objeto, fazendo a mediação das interações entre esses.

Apesar de se apresentar como uma resistência – "harmonia das ilusões" (FLECK, [1935] 1986) – para um novo modo de olhar, de pensar e de agir, o que poderia sugerir algo estático e permanente, o estilo de pensamento é dotado de um dinamismo, na compreensão de Fleck, na medida em que se instala, se estende (período clássico) e se transforma. Essa transformação se dá uma vez que o estilo não consegue solucionar problemas por ele focalizados em um determinado momento histórico.

A consciência do coletivo de pensamento da existência desse tipo de problema, denominado por Fleck (1986) de complicações, representa um papel histórico na transformação do estilo de pensamento. Aliado a esse aspecto, a circulação intercoletiva de ideias, conhecimentos e práticas, oriundos de distintos estilos de pensamento podem dar contribuições para o enfrentamento desses tipos de problemas denominados de complicações.

A interação entre os membros de um coletivo de pensamento, isto é, um coletivo que agrega pesquisadores que compartilham um determinado estilo, ocorre por meio do que se denomina circulação intracoletiva. Já a interação entre pesquisadores de distintos coletivos se dá pela denominada circulação intercoletiva de ideias e práticas (FLECK, [1935] 1986).

As circulações de ideias podem, dentre outros motivos, contribuir para a instauração, a extensão e a transformação de um estilo de pensamento, no entanto, como sabemos, nesse processo há também outros aspectos influindo, para além da dimensão cognitiva, tais como demandas que se localizam exteriormente a um determinado coletivo de pensamento, bem como direcionamentos para a investigação por meio de fomentos financeiros.

As categorias, circulação intercoletiva e intracoletiva de conhecimentos e práticas foram fundamentais, por exemplo, no trabalho de Leite, Ferrari e Delizoicov (2001) para problematizar a compreensão segundo a qual Mendel seria um frei solitário que teria isoladamente desenvolvido seu trabalho com as ervilhas e chegado às chamadas *Leis de Mendel*. O artigo localiza e analisa as possíveis contribuições que distintos coletivos de pensamento, com os quais Mendel interagia, deram para a formulação das leis. O artigo também usa essas categorias para argumentar sobre a demora para que as ideias desse monge fossem aceitas pela comunidade científica, até a constituição de um coletivo de pensamento que poderíamos identificar como sendo dos geneticistas, que começa a compartilhar premissas, concepções e práticas oriundas do trabalho de Mendel.

Já no caso do trabalho de Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005), outro exemplo do potencial uso das categorias de circulação inter e intracoletiva de ideias e práticas é empregado para explorar o papel da contribuição dos vários especialistas, pertencentes a distintos coletivos de pensamento, na formulação do modelo da dupla hélice do DNA.

Essas categorias foram, ainda, fundamentais para uma compreensão sobre como os modelos interpretativos para o movimento do sangue no corpo humano foram gestados em distintas épocas, como se instalaram, mantiveram-se ao longo do tempo e transformaram-se, conforme exposto a seguir.

Abordagem histórica do movimento do sangue no corpo humano

O exame do desenvolvimento histórico do conceito de circulação sanguínea no corpo humano (DELIZOICOV, N., 2004, 2006) teve como referência as categorias analíticas: estilo de pensamento e coletivo de pensamento, complicações, circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias propostas por Fleck ([1935], 1986), as quais foram fundamentais para examinar dois modelos explicativos para o movimento do sangue no corpo humano. Um deles, proposto por Cláudio Galeno (c.130-200 d.C.), considerado o último grande médico da Medicina antiga, e o outro proposto pelo médico inglês William Harvey (1578-1657).

Esses modelos surgiram em diferentes épocas sob distintas visões de mundo, estando relacionados a distintos estilos de pensamento médico. É analisado o papel que a circulação intercoletiva de ideias teve na proposição de Galeno, particularmente a partir de um exame da influência das obras de Hipócrates, Aristóteles, Platão e dos estóicos, conforme considerações de Taton (1959), Smith ([1975] 1977) e Singer ([1956]1996).

A origem do sangue e seu trajeto segundo Galeno

Cláudio Galeno (c.130-200 d.C.) nasceu em Pérgamo, cidade situada na Costa Egea da Ásia Menor. Suas ideias exerciam certa atração ao sistema Cristão, uma vez que para ele tudo era determinado por um Deus, o que justifica a preservação de muitos dos seus escritos em detrimento de autores pagãos. Segundo Bernal (1975), "O sistema galênico era uma hábil mistura de antigas ideias filosóficas, como a doutrina dos três espíritos ou almas [...] com fluxo e refluxo de espíritos e de sangue nas artérias e veias, o coração como origem do calor e os pulmões como foles de arrefecimento" (BERNAL, 1975, p. 237).

Quando Galeno explicitou a sua interpretação sobre a origem, a função e o trajeto do sangue no corpo humano, muitos dos conhecimentos específicos da Medicina já estavam disponíveis, conforme resgatado em Delizoicov (2002).

Ao explicitar suas ideias, Galeno se contrapôs a alguns de seus antecessores: a Aristóteles, ao defender que os vasos partiam do fígado e não do coração; a Herófilo e a Erasístrato, ambos da Escola de Alexandria, ao considerar a existência de três pneumas (princípio vital incorporado do mundo exterior no ato da respiração) e não de quatro ou dois como supunham, respectivamente, esses dois pensadores; a Erasístrato, que afirmava existir ar nas artérias, quando para Galeno elas continham sangue (SMITH, [1975] 1977).

Baseando-se em Erasístrato, Galeno considerava que o pneuma chegava aos pulmões através da traqueia e ao coração através da artéria venosa (atual veia pulmonar), abrigando-se no lado esquerdo desse órgão (SMITH, [1975] 1977; SINGER, [1956] 1996; PORTO, 1994; NAMORA, 1989). Esse pneuma, chamado vital, comandava os movimentos involuntários, gerava a alegria, a dor, os prazeres, as paixões e era distribuído com o sangue através das artérias (SINGER, [1956] 1996; PORTO, 1994; NAMORA, 1989).

Assim como os médicos alexandrinos, Galeno pensava que os plexos cerebrais segregavam o pneuma animal, distribuído com o sangue através dos nervos (acreditava-se serem ocos), e orientava os movimentos voluntários e os fenômenos intelectuais (SINGER, [1956] 1996; NAMORA, 1989). O cérebro era o centro das sensações e dos movimentos voluntários; o calor era distribuído ao corpo pelas artérias cuja fonte alojava-se no lado esquerdo do coração (SMITH, [1975] 1977).

Galeno acreditava que os alimentos depois de absorvidos pelo intestino eram levados ao fígado (centro do sistema venoso de onde partiam os vasos) e transformados em sangue. Nesse mesmo órgão, o sangue impregnava-se com o que ele denominava de pneuma inato ou natural (SINGER, [1956] 1996; PORTO et al., 1991; NAMORA, 1989; RADL, 1988). Esse pneuma orientava as funções de nutrição e crescimento e dava origem às substâncias que cabia a cada órgão produzir (PORTO et al., 1991).

Ao deixar o fígado através de um grosso vaso (veia cava), o sangue era conduzido para a cavidade direita do coração, onde as impurezas, em forma de vapor, eram levadas através da veia arterial (artéria pulmonar) para os pulmões, a fim de serem exaladas durante a expiração. A maior parte do sangue purificado voltava para o sistema de vasos e a outra parte passava gota a gota para a cavidade esquerda do coração, atravessando, segundo Galeno, invisíveis poros existentes no septo interventricular (SINGER, [1956] 1996; PORTO, 1994; PORTO et al., 1991; GIORDAN, 1987). A presença do sangue na cavidade esquerda do coração constituiu uma das *complicações* (FLECK, 1986) detectadas, posteriormente, no modelo de Galeno. Todo o processo para o enfrentamento dessa complicação culminou com a proposição de outro modelo.

Para Galeno, no lado esquerdo do coração o sangue misturava-se com o *pneuma do mundo exterior,* incorporado através da traqueia e pela artéria venosa (veia pulmonar). O pneuma se transformava e dava origem a outro, denominado de *pneuma vital*, o qual era distribuído a todo o corpo pelas artérias. Restava confuso na concepção de Galeno o papel dos átrios (SINGER, [1956] 1996; PORTO, 1994; PORTO et al., 1991; GIORDAN, 1987).

O fato de Galeno ter previsto a necessidade da purificação do sangue no ato da expiração pode ser interpretado como a gênese do que hoje conhecemos como hematose. Fleck (1986) argumenta que em diferentes interpretações persistem ideias que estabelecem conexões ou relações de dependência entre distintos modelos explicativos, o que ele denomina de protoideias ou pré-ideias, as quais se podem constituir o ponto de

partida para as teorias atuais. Segundo Fleck (1986), as pré-ideias são compreendidas como esboços históricos evolutivos e pré-científicos e não devem ser julgadas, sob o ponto de vista atual, como corretas ou incorretas, simplesmente pertencem a outro estilo de pensamento.

No que se refere ao movimento do sangue, Galeno o comparava ao movimento de fluxo e refluxo das marés, entendendo que parte do sangue voltava ao sistema de vasos depois de atingir as extremidades dos mesmos e se coagular para formar a estrutura do corpo (PORTO, 1994; PORTO et al., 1991; RADL, 1988). Para ele, o sangue se movimentava num sistema aberto, tinha um princípio e um fim, passava uma só vez pelo coração e a sua produção pelo fígado era incessante.

A coerção de pensamento (FLECK, 1986) exercida sobre o coletivo dos médicos daquela época foi tão intensa que os conhecimentos de Galeno perduraram por cerca de 1500 anos. Tal fato pode ser compreendido, ao se considerar que a interação do sujeito com o objeto de estudo é mediada pelo estilo de pensamento vigente. Alguns dos motivos pelos quais seus conhecimentos instalaram-se e predominaram no pensamento médico são apontados na sequência.

As interpretações de Galeno

O sistema de pensamento de Galeno alcançou seu período clássico e pode ser caracterizado com o que Fleck (1986) denomina de *harmonia das ilusões*, tornando-se, assim, um estilo de pensamento médico compartilhado por especialistas do período em que esteve dominante.

Além da disseminação das ideias de Galeno se processar por meio de palestras e das práticas médicas realizadas, seus livros desempenharam importante papel na circulação intercoletiva de ideias, pois serviram como fonte para estudos durante todo o período medieval, permanecendo até a Idade Moderna. Os manuais garantiram a disseminação entre outros coletivos, e o conteúdo teológico de suas ideias recebeu amplo apoio da igreja cristã (MELO, 1989).

A aceitação e a permanência das proposições de Galeno por tão longo tempo podem ser compreendidas a partir da perspectiva fleckiana:

> [...] se uma concepção se impregna suficientemente forte a um coletivo de pensamento, de tal forma que penetra até na vida diária e nos usos linguísticos e fica convertida, no sentido literal da expressão, em um ponto de vista, então uma contradição parece impensável e inimaginável. (FLECK, 1986, p. 75).

A força coercitiva das ideias de Galeno foram tão marcantes que mesmo não deixando discípulos específicos e nem escola estabelecida, depois de sua morte, os conhecimentos permaneceram e nenhuma novidade

significativa foi introduzida, o que na perspectiva fleckiana é denominado de período de extensão de um estilo de pensamento.

As ciências chamadas pagãs, como as artes, a anatomia, a fisiologia e as respectivas pesquisas práticas tiveram pouco incentivo para se desenvolverem, o que contribuiu para a preservação do galenismo.

Alguns dos escritos antigos e a língua grega permaneceram em Salermo, sul da Itália, após a invasão da cidade de Alexandria por cristãos que destruíram a Escola e a Biblioteca instaladas no fim do século IV a. C.

No oriente, o Islamismo serviu de barreira contra a influência dos bárbaros e alguma coisa da relíquia clássica foi salva. A liderança intelectual, no século VIII, passou para os árabes e com eles permaneceu até o século XIII. Documentos importantes da Medicina grega foram traduzidos para o árabe e, no século XII, alguns foram traduzidos do árabe para o latim. Avicena, Hali e Rhazes, os principais vultos da medicina, antes de 1500, dependeram de versões árabes dos escritos de Galeno (SINGER, [1956] 1975). Dessa forma, o galenismo seguiu sendo preservado.

O primeiro movimento de recuperação intelectual da Europa foi iniciado no século IX por Carlos Magno, mas é no século X, com a reforma monástica, que a Igreja começa a construir uma organização capaz de controlar a vida e o pensamento de todos os povos da Cristandade, de reis a servos (BERNAL, 1975). Os livros eram raros e no lugar dos mesmos figuravam as escolas e o ensino oral.

A necessidade de recuperação da cristandade ocidental levou ao estabelecimento de escolas junto a catedrais. Essas escolas tornaram-se universidades, cujo objetivo maior era viabilizar o acesso dos membros do clero às ideias do mundo clássico por meio de conferências e discussões (BERNAL, 1976). Esse método caracterizou o processo pelo qual eram formados os médicos medievais, que se dedicavam ao estudo dos clássicos, entre estes, Galeno, ampliando, assim, o coletivo de pensamento.

A volta da prática da dissecação dá início a um processo que foi desestabilizando o estilo de pensamento médico vigente, como é visto a seguir.

Transformação do estilo de pensamento galênico

Produziu-se, no período medieval, com o galenismo em plena fase de extensão, um lento, mas estável desenvolvimento técnico, teórico e prático. O trabalho artesão passou para as gerações mais jovens, mas, apesar desse conservadorismo e da relativa estagnação em que estava mergulhada a humanidade, algumas inovações foram produzidas, como, por exemplo, rodas hidráulicas e moinhos de vento como princípios motores (SMITH [1975] 1977).

No renascimento, importantes inovações processaram-se na ciência, na arte, na política, ocorrendo a valorização do trabalho manual, sobretu-

do, aquele dos artesãos e artistas (BERNAL, 1976). A produção de obras de arte consumida pelos senhores feudais e pela igreja passa a interessar também à nascente burguesia que exigia maior realismo nos retratos. O movimento no campo das artes, no início do século XV, exerceu profunda influência sobre o progresso da anatomia (BERNAL, 1976).

A impressão de figuras em madeira, ou gravações em chapas de cobre colocaram novos instrumentos à disposição dos anatomistas. Os diagramas e os desenhos podiam ser copiados e multiplicados, o que, junto com a imprensa propriamente dita, tornou mais fácil o intercâmbio de dados científicos.

O movimento naturalista nascido no século XIII teve grande influência nos estudos anatômicos uma vez que os artistas interessaram-se pela representação fiel do corpo humano. Leonardo da Vinci (1452-1519), por exemplo, artista, engenheiro, matemático, biólogo e artista/anatomista interessou-se pela estrutura do corpo e funções de seus órgãos.

Uma das consequências do espírito artístico para as escolas médicas foram as ilustrações em livros e, no início do século XVI. Esboços anatômicos eram impressos em panfletos usados por estudantes de medicina e de artes (SINGER, [1956]1996).

> [...] a arte requeria o estudo da anatomia do próprio corpo humano, para descobrir o mecanismo subjacente aos gestos e às expressões [...] o corpo humano era dissecado, explorado, medido, desenhado e explicado como uma máquina extremamente complexa. (BERNAL, 1976, p. 388-389).

A universidade de Bolonha, importante centro de estudos de anatomia durante os séculos XIII e XVI, abrigava desde 1156 uma Escola de Direito que, com o fim de acumular evidências para processos legais, incentivou a prática da dissecação do corpo humano (SINGER, [1956]1996).

A circulação intercoletiva de ideias que permitiu a extensão do estilo de pensamento galênico vai também propiciar a sua transformação. "[...] os médicos italianos e o grande número de estudantes estrangeiros que acorriam à Itália para estudar medicina não estavam isolados; misturavam-se [...] com artistas, matemáticos, astrônomos e engenheiros – [...]." (BERNAL, 1976, p. 389).

A introdução de outros conhecimentos e práticas, a tomada de consciência de complicações no modelo vigente e o enfrentamento destas pelos membros do coletivo contribuíram para que um novo estilo de pensamento viesse a se instalar. Conforme Fleck (1986), conflitos de ideias, contradições, diferenças de pontos de vista, divergências e controvérsias são características do período que antecede à transformação de um estilo de pensamento.

No Renascimento Italiano é que se podem localizar aspectos que propiciariam as condições para a transformação no estilo de pensamento galênico. O surgimento de uma *nova anatomia* deveu-se à circulação in-

tercoletiva de ideias entre o coletivo dos médicos e coletivos distintos que, num empreendimento conjunto, contribuíram para o avanço de estudos anatômicos e fisiológicos.

Significativas inovações na forma de representar o corpo humano foram implementadas por André Vesálio (1514-1564), o primeiro médico que uniu a dissecação com a exposição e o primeiro a utilizar desenhos artisticamente executados (RADL, 1988). Antes de Vesálio, o trabalho mecânico de dissecar, realizado em grandes auditórios pelos *demonstradores* ou *barbeiros*, tinha a finalidade de auxiliar os *expositores* a transmitir aos estudantes as verdades encerradas nas obras de Galeno. A crescente utilização de desenhos em textos de anatomia (MAYR, 1998; RADL, 1988) constituiu outro procedimento para a circulação de conhecimentos.

Nascido em Bruxelas, André Vesálio estudou na Universidade de Louvain, de Montpellier e de Paris. Em 1537, foi nomeado professor de anatomia da universidade de Pádua, que representava uma expressão poderosa do movimento naturalista associado ao renascimento. Sendo artista, humanista e naturalista, Vesálio publicou *De Humani Corporis Fabrica,* em 1543, na Basiléia. Seu livro constitui não só o alicerce da Medicina moderna como ciência, mas a primeira realização da própria ciência em tempos modernos. O próprio título é sugestivo do imaginário mecânico aplicado ao corpo humano (BERNAL, 1976).

André Vesálio foi digno de sua época, teve como pai intelectual o galenismo e como mãe a nova arte, pois esteve na Itália, foi professor da Universidade de Pádua e soube aproveitar, com sabedoria, o período de grande criatividade que permeou todo o Renascimento (SINGER, [1956] 1996). O fato de Vesálio ter se apropriado de conhecimentos e práticas oriundas de distintos coletivos de pensamento parece ter tido um papel significativo na mudança da prática relativa à anatomia.

Vesálio realizou estudos comparativos tendo como um dos objetivos mostrar que os escritos anatômicos de Galeno descreviam estruturas de animais e não do ser humano (RADL, 1988). *De Humani Corporis Fabrica* foi publicada no mesmo ano em que Nicolau Copérnico lançou sua obra – *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes* – que deslocou a Terra do centro do Universo. Esses dois intelectuais derrubaram a teoria medieval do microcosmo e do macrocosmo (SINGER, [1956] 1996).

Os estudos de Vesálio já apontavam complicações no modelo de Galeno, mas a explicação que haveria de substituí-lo necessitava de uma análise completamente nova que integrasse a anatomia com a curiosidade renascentista pelas máquinas, ou seja, foles, bombas e válvulas – originando assim uma nova fisiologia experimental (BERNAL, 1976). Vesálio deixou a Universidade de Pádua em 1544 e faleceu em 1564.

Miguel de Serveto (1511-1553), médico espanhol e teólogo, contemporâneo de Vesálio, tinha a convicção de que o sangue não poderia fluir através do septo interventricular, mas sim encontrar um caminho pelos

pulmões para passar do lado direito para o lado esquerdo do coração (PORTER, 1996; PORTO, 1994). Essa foi a primeira menção do que hoje conhecemos como circulação pulmonar ou pequena circulação sanguínea (PORTO, 1994).

A inovação desse médico reside na sua convicção da mudança qualitativa do sangue efetuada por sua passagem pelos pulmões. Para ele, o espírito vital estava contido no sangue vivo do coração e das artérias, e o espírito natural no sangue escuro das veias. Encontram-se aqui pré-ideias do que atualmente são nomeados sangue arterial e sangue venoso. Porém, a desconfiança de que os dados da observação não pareciam estar se encaixando nos escritos tradicionais pode ser localizada anteriormente a Serveto.

No século XIII, o médico sírio Ibnal-Nafis – ou Ibn al-Nafis al-Qurashi (1210-1288) – que apesar de reconhecer, de acordo com a concepção galênica, a necessidade do sangue chegar ao lado esquerdo do coração (sede do espírito vital) afirmou que as cavidades direita e esquerda do coração encontravam-se isoladas uma da outra por uma parede que impedia a passagem do sangue. Esse médico chegou a afirmar que o sangue impuro passava pela veia arteriosa para atingir a cavidade esquerda do coração depois de o pulmão fornecer-lhe *alimento* (PORTO, 1994; BUTTERFIED, 1982).

Segundo Porto (1994), os escritos de Ibnal-Nafis parecem ter sido desconsiderados ou desconhecidos pelos médicos do período renascentista. "[...] Ibn-Al-Quff (1233-1286), aluno de Ibnal-Nafis, foi quem em sua monografia sobre cirurgia presumiu a existência de vasos capilares, que seria certificado quatro séculos depois por M. Malpighi." (ILSE, LOTHER; SENGLAUB, 1989, p. 106).

Entre os seguidores de Vesálio encontra-se seu discípulo, assistente e sucessor em Pádua, Matteo Realdo Colombo (1516-1559), que reiterou as observações de Serveto sobre a circulação do sangue, negando a existência dos poros interventriculares, mas atribuindo ao fígado a mesma função descrita por Galeno (SINGER, [1956] 1996; PORTO, 1994).

Hieronymus Fabricius de Acquapendente (1533-1619), que sucedeu Realdo Colombo, construiu por conta própria o teatro anatômico de Pádua. Sua obra mais conhecida – *Das Válvulas nas Veias* –, com excelentes figuras, teve grande influência sobre Harvey.

Andrea Cesalpino (1619-03) foi professor em Pisa e sessenta anos antes de Harvey, atribuiu ao coração e não mais ao fígado, como previa Galeno, a sede do princípio que regia a atividade do organismo.

Os conhecimentos médicos disponíveis, antes do novo estilo de pensamento médico vir a público, alcançaram grandes dimensões graças à circulação de conhecimentos e práticas que, ao serem compartilhados por distintos sujeitos na interação com os dados empíricos, permitiu a formação do coletivo de pensamento, no entanto, a circulação de conhecimentos e práticas, ao serem disseminadas no interior do coletivo de médicos, contribuiu, também, para que complicações fossem detectadas

no modelo vigente, apontando, assim, a sua exaustão e a necessidade de sua transformação, como será visto mais adiante neste trabalho.

Procedimentos práticos relativos ao estudo da anatomia romperam as fronteiras geográficas da Europa meridional onde inicialmente começara a ocorrer. A tradição paduana estende-se para a Basiléia, Dinamarca e Holanda. Rioland desenvolve a anatomia em Paris e Harvey leva os métodos paduanos à Inglaterra: "*os filhos e os netos de Pádua devem ser procurados em outras terras que não a Itália* [...]." (SINGER, [1956] 1996, p. 183, grifos do autor).

A caminho de um novo estilo de pensamento

William Harvey vivenciou a emergência de uma visão mecânica para a compreensão do corpo e demais fenômenos naturais. Estudou no maior centro científico da sua época e, apesar de conviver com a compreensão de um corpo e um mundo estáticos, passa a interpretá-los sob uma visão mecânica dos fenômenos naturais.

Harvey (1578-1657) dirigiu-se à Universidade de Pádua onde estudou entre os anos de 1597 a 1602, doutorando-se em Medicina. Nesse século e nos subsequentes, estudiosos como Galileu, Kepler, Vesálio, Descartes e tantos outros criaram e/ou aperfeiçoaram conceitos sobre Astronomia, Física e Fisiologia em um verdadeiro trabalho de renascimento da ciência, que culminou com a origem da Ciência Moderna. Em Londres, Harvey foi nomeado membro titular do Royal College of Physicians, tornou-se médico assistente do hospital de São Bartolomeu e professor de Anatomia e de Fisiologia no College of Physicians, onde desenvolveu amplas e sucessivas investigações sobre embriologia, anatomia comparada e fisiologia da circulação.

Esses estudos foram realizados em diferentes grupos de animais e comparados com dados obtidos em observações durante a dissecação de cadáveres (DÉCOURT, 1990). Suas primeiras palestras ministradas no Royal College of Physicians, em 1615-16, foram resultados de anos de experimentações não mais balizadas unicamente por pressupostos galênicos e testemunham que a ideia da circulação do sangue já fazia parte de suas reflexões.

William Harvey (1578-1657), por ter vivenciado o legado do renascimento italiano e a emergência de uma visão mecânica para a compreensão do corpo e demais fenômenos naturais e, ainda, por ter estudado no maior centro científico daquela época, rompe com a compreensão de um corpo e um mundo estático. "O ponto de vista de Harvey [...] é muito diferente daquele de Galeno, e [...] ouviremos menos sobre Desígnio e mais sobre a Máquina" (SINGER, [1956] 1996, p. 196).

Harvey aderiu à crescente crença na possibilidade da matematização dos fenômenos terrenos, jamais admitida no período anterior à da Ciência Moderna (KOYRÉ, 1982; CARAÇA, 1975). Numa perspectiva dinâmica e quantitativa, valendo-se de operações matemáticas, passou a interpretar seus ensaios biológicos, demonstrou que o coração recebe e expele sangue, calculou o volume total de sangue que circula pelo corpo; verificou que o sangue deixa o coração através das artérias e retorna pelas veias, cujas válvulas impedem a circulação para fora; e, ainda, verificou que através do sangue os venenos ou as drogas são distribuídos por todo o corpo (PORTO, 1994). As observações realizadas levaram Harvey a concluir que o sangue faz um trajeto em circuito fechado.

Depois de conhecerem as ideias de Harvey, os demais pesquisadores começaram a interpretar problemas relativos à anatomia e à fisiologia em termos de uma compreensão baseada em conhecimentos da Mecânica, da Física, da Química e da Anatomia Comparada (SINGER, [1956] 1996).

O livro de Harvey, *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, publicado em Frankfurt no ano de 1628, consistia em um pequeno volume, com 72 páginas escrito em latim, saturado de ideias de Aristóteles e de Galeno, autores de quem ele nunca conseguiu se livrar completamente. Fleck (1986) destaca a dependência histórica entre estilos de pensamentos subsequentes. O novo estilo de pensamento contém vestígios que decorrem do desenvolvimento histórico de muitos elementos de outros estilos.

Na época em que Harvey realizou seus estudos, alguns conhecimentos sobre o sistema sanguíneo já estavam disponíveis: a estrutura do coração era bem conhecida desde os tempos de Vesálio; a ação das válvulas na aorta e na artéria pulmonar na prevenção da regurgitação do sangue havia sido descrita por Galeno e reconhecida, entre outros, por Mondino, Leonardo, Berengar e Vesálio. A pequena circulação, também, já havia sido descrita, por Serveto, Columbo e Ruini, embora sua importância não tenha sido devidamente reconhecida naquela época.

No trabalho de Andréa Cesalpino (1619-03) existe uma sugestão da grande circulação, posteriormente retirada. As válvulas nas veias, observadas por muitos durante o século XVI, haviam sido sistematicamente exploradas por Fabrício, que não tinha ideia de sua função real, entretanto, ainda aceitava-se a presença de poros no septo interventricular que permitia a passagem do sangue do ventrículo direito para o ventrículo esquerdo do coração. Tal explicação não era bem aceita por Vesálio que tentou, sem sucesso, passar cerdas através dos poros, mas que não tinha alternativa para contrapor a Galeno (SINGER, [1956] 1996).

Harvey ampliou os conhecimentos disponíveis em sua época na medida em que chamou a atenção para a relação entre os átrios e os ventrículos e a relação destes com as artérias. Outra observação original de Harvey refere-se à contração dos átrios seguida pela contração dos

ventrículos, o que permite que o mesmo sangue que é impulsionado para dentro do ventrículo, pela contração do átrio, seja subsequentemente dirigido para dentro da artéria. Quanto à função das válvulas, ele introduz, num conhecimento já existente, um novo aspecto, isto é, Harvey insiste que o fluxo de sangue, além de seguir em uma única direção, o faz de modo contínuo. A crença na perfeição do movimento circular o levou à concepção ininterrupta do movimento do sangue.

Na descrição de Harvey, o coração funciona como uma bomba hidráulica impulsionada pela força muscular (PORTO, 1994). O conhecimento da bomba hidráulica com duas válvulas, utilizada para sugar água de minas profundas, aprimoradas em fins do século XV e início do século XVI, talvez tenha influenciado Harvey (DÉCOURT, 1990). Além disso, podemos localizar, na explicação proposta sobre a existência de válvulas no coração, papel semelhante ao das válvulas da bomba hidráulica, fato que leva muitas vezes a se associar o coração com esse tipo de bomba.

Harvey corrigiu observações de seus antigos antecessores, ao afirmar que é a sístole e não a diástole, como se pensava, a fase ativa do coração. Em *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus,* Harvey revelou que,

> [...] quando me entreguei [...] à vivissecções como meio de descobrir os movimentos e funções do coração, procurando decifrá-los pela inspecção direta e não pelos escritos dos outros, encontrei o meu labor tão desafortunado e cheio de dificuldades que quase me senti tentado a pensar, como Fracastoro, que os movimentos cardíacos nunca poderiam ser compreendidos, salvo por Deus, que os havia concebido. Porque devo confessar, que ao princípio me foi impossível discernir quando ocorria a sístole e a diástole, dada a rapidez de tais movimentos, que em muitos animais se verificam em menos tempo do que demora a piscar um olho, indo e vindo com a rapidez do relâmpago. (HARVEY, [1628] 1999, p. 23).

Harvey, ao realizar experiências em animais vivos, mas já numa perspectiva quantitativa em sintonia com os pressupostos emergentes, provocou, em um deles, uma hemorragia e pôde perceber que os batimentos cardíacos foram reduzindo. Com essa observação, fez surgir uma das complicações do modelo galênico, pois se o fígado fosse a sede da produção do sangue, ele deveria suprir a quantidade perdida na hemorragia.

Prosseguindo em seus estudos, Harvey laqueou o vaso sanguíneo que partia do coração de uma cobra e, logo que o incisou, nenhum sangue jorrou, mas o coração começou a inchar pela acumulação do sangue proveniente dos pulmões e das outras partes do organismo (PORTO, 1994; NAMORA, 1989). Seguindo essa linha de pensamento, Harvey afirmou que: "logo, em função de alguns cálculos, resultará igualmente óbvio que a quantidade de sangue não pode proceder dos alimentos ingeridos, nem ser apenas necessária para a nutrição do coração" (HARVEY, [1628], 1999, p. 55).

A coerção do estilo de pensamento galênico já não é mais suficientemente forte para impedir a observação de elementos que aquele modelo não previu. A consciência de complicações é um elemento inicial para a possibilidade de um novo estilo de pensamento.

Ao discorrer sobre a disposição da estrutura das válvulas, Harvey mostra a sua *desconfiança* a respeito das ideias de Galeno: "Logo, em função de alguns cálculos, resultará igualmente óbvio que a quantidade de sangue não pode proceder dos alimentos ingeridos, nem ser apenas necessária para a nutrição do coração" (HARVEY, [1628], 1999, p. 55).

Para Harvey, a quantidade de sangue mobilizada no interior do corpo a partir do coração, num determinado período de tempo, não poderia ser explicada por meio de fases de perda, elaboração e reposição pelo fígado. Esse movimento do sangue só poderia ser compreendido como um circuito permanente, num ciclo de ida e de retorno do sangue, pela contração do coração (DÉCOURT, 1990).

Concebendo o movimento do sangue como um circuito fechado, Harvey comprimiu uma veia superficial do braço humano, espremendo o sangue no sentido do coração. Esse procedimento resultou no aparecimento de nódulos nas veias, que já haviam sido demonstrados por Fabrício, seu professor, e que correspondiam às válvulas. Quando deixou de espremer o sangue no sentido do coração, o sangue não refluiu à veia, o que evidenciava a existência de válvulas que se fechavam impedindo o seu retorno. Ao deixar de comprimir a veia, o sangue corria de novo, vindo da extremidade do membro para o coração.

Para Harvey, o sangue fluía do coração para as artérias e regressava pelas veias, cujas válvulas permitiam que o sangue apenas se movesse em direção ao coração. Dessa forma, ele detectou outra complicação no modelo galênico, pois havia demonstrado que o sangue não nascia no fígado, mas fluía do coração para as artérias e regressava ao coração pelas veias. Assim, a circulação do sangue fazia-se num extenso circuito, contrariando Galeno, cujo modelo previa o sangue abandonando os vasos para irrigar os tecidos (PORTO, 1994; KEY et al., 1979; NAMORA, 1989).

Harvey realizou seus estudos sob a visão de um mundo mecânico passível de ser medido e quantificado. Essa visão mecanicista viria a se tornar um estilo de pensamento que, apesar de permeado por ideias do antigo, passou a ser construído por meio de um longo processo de interação com outros coletivos de pensamento, dos quais incorporava elementos.

Três mudanças, pelo menos, tiveram papel fundamental na proposição de Harvey: 1) o uso de dissecações e realizações de experimentação para uma compreensão anatômica fisiológica; 2) a crença na perfeição do movimento circular, a partir da qual propõe um movimento em um ciclo fechado; 3) a matematização dos fenômenos naturais, com a qual pode quantificar o volume de sangue circulando no corpo. A crença de que os fenômenos terrestres pudessem ter uma exatidão por meio do uso de

cálculos matemáticos era totalmente inédita e estava em sintonia com o mecanicismo, que fazia uso da matemática para outra compreensão do movimento dos corpos na Terra.

Harvey deixou de imaginar a existência e o papel dos vasos capilares e sugeria, talvez por influência de Galeno, que a comunicação entre veias e artérias se desse através de *poros invisíveis* que deveriam existir nos tecidos do corpo.

Um dos pontos que ficaram por explicar em seu modelo se refere à questão de como o sangue passaria do sistema arterial para o sistema venoso. Somente em 1691, Marcelo Malpighi, com a utilização do microscópio, descreveu os vasos capilares (PORTO, 1994; DÉCOURT, 1990), no entanto, a concepção do movimento do sangue, segundo uma dinâmica em circuito fechado foi a grande transformação ocorrida com a proposição de Harvey, contrariando totalmente Galeno, que previa um sistema aberto.

Instauração e extensão de um novo estilo de pensamento

Harvey tinha consciência do que significaria contradizer a doutrina de Galeno. Aos poucos, cautelosa e habilmente, soube convencer os membros do colégio de médicos da inegável correção de seus conceitos. Dessa forma, qualquer que fosse a reação dos críticos estrangeiros, as melhores cabeças do Colégio Real o defenderiam (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2000).

O livro de Harvey, cuja divulgação suscitou oposição de seus adversários, feria o galenismo, transformando-o radicalmente (DÉCOURT, 1990; NAMORA, 1989). Entre aqueles que se manifestaram contra suas ideias, encontram-se Guy Patin, erudito e culto, que foi o mais virulento e desrespeitoso dos opositores (GIORDAN, 1987). Jean Riolan, um mestre francês de reconhecida cultura e professor de anatomia na Universidade de Paris, foi o único a quem Harvey dignou-se a responder. A posição de seus adversários pode ser compreendida, uma vez que, como destaca Fleck (1986), quando um sistema de ideias está, estruturalmente, fechado e composto de numerosos detalhes e relações, ele resiste a tudo o que o contradiz, chegando a angariar todos os esforços possíveis para tentar explicar as complicações.

Harvey, no entanto, encontrou eco em muitos dos intelectuais em favor de sua tese, particularmente quanto à precisão e clareza de seus experimentos. Múltiplas vozes, vindas da Dinamarca (Niels Stensen), da França (Raimundo de Vieussens) e da própria Inglaterra (Ricardo Lower), ressaltaram a alta categoria do seu trabalho e confirmaram os achados, ao realizarem estudos e experimentos semelhantes àqueles efetuados por Harvey.

Para Bernal (1976), o efeito que o conhecimento estabelecido por Harvey teve sobre a antiga fisiologia de Galeno pode ser considerado um

marco revolucionário, assim como o foram as contribuições de Galileu e Kepler, relativamente à astronomia aristotélica.

Considerando-se Harvey e o contexto de sua produção, destaca-se o surgimento de uma revolução no pensamento biológico e um marco no campo da investigação médica. Os estudos de Harvey significaram o afastamento do raciocínio escolástico, abrindo caminho para novos estudos anatômicos e embriológicos, em seus aspectos específicos, e para estudos comparativos com outros animais (DÉCOURT, 1990).

De Humani Corporis Fabrica, de Vesálio e *Exercitato Anatômica De Motu Cordis,* de Harvey, além de constituírem grandes marcos para o conhecimento biomédico específico, são obras elaboradas sob um estilo de pensamento em construção. Muitos conceitos de outras áreas do conhecimento foram importados para a biologia, termos como bomba, válvulas, vasos, importados da engenharia hidráulica, e associados à disseminação do sistema sanguíneo.

Considerações finais

A análise epistemológica de episódios históricos, como a apresentada, quando inserida na formação de professores, pode contribuir para alterar significativamente aqueles problemas apontados por Gil-Pérez et al. (2001), em relação à natureza do conhecimento científico. Pode contribuir, também, para se compreender os momentos e as razões pelas quais profundas transformações ocorrem no conhecimento científico, e, ainda, a necessidade de paciência e persistência para que uma teoria, um estilo de pensamento, seja aceita pelo coletivo de pesquisadores, desmistificando o saber pronto e dogmático.

As categorias fleckianas foram importantes, ao terem referenciado a análise de alguns episódios da História da Ciência, conforme referências apresentadas, porque contribuíram para uma explicitação dos processos envolvidos na produção, disseminação e manutenção de determinados modelos e teorias, bem como de alterações científicas oriundas dos episódios considerados.

Particularmente, no episódio sobre o movimento do sangue e a proposição de Harvey, analisado neste capítulo, as categorias circulações intracoletiva e intercoletiva de ideias tiveram importante papel para a compreensão da permanência, por cerca de quinze séculos, do modelo galênico e dos motivos pelos quais precisou ser substituído. Por sua vez, a solução para problemas oriundos de situações não resolvidas por esse modelo estavam em sintonia com as crescentes proposições advindas da Ciência Moderna, sintonia, essa, estabelecida por meio de processos que incluem distintas interações culturais propiciadas pela produção e disseminação de conhecimentos e práticas.

O professor do Ensino Fundamental e médio poderá, a partir de um estilo de pensamento pedagógico distinto daquele que, geralmente e tradicionalmente, está presente nas aulas e nos livros didáticos, localizar na história da circulação sanguínea questões que possam desafiar os alunos na busca de conhecimentos para a compreensão das mesmas.

Foram questões problematizadoras que desafiaram Harvey a investigar o movimento do sangue no corpo humano. As questões que formulou a si mesmo foram suscitadas por um estilo de pensamento distinto daquele sob o qual o corpo humano vinha sendo concebido, analisado e estudado. Harvey, sob uma visão de mundo, na qual emergiu a Ciência Moderna, preocupou-se com aspectos quantitativos, questionando-se sobre o volume de sangue que era emitido em cada contração do coração e qual o tempo em que cada passagem do sangue por esse órgão poderia ser efetuada.

Ainda que o professor não aborde conteúdos da biologia sistematicamente organizados a partir de uma perspectiva histórica, como alguns poucos pesquisadores o fizeram em trabalhos de intervenção, como, por exemplo, (PEDUZZI, 2001; SLONGO, 1996), a inserção da História e da Filosofia da Ciência nos cursos de formação poderá instrumentalizar o professor de tal modo que ela, de alguma forma, estará presente nas salas de aula do Ensino Fundamental e Médio.

O professor poderá fazer uso de dados históricos, quer no seu planejamento quer nas aulas, pelo menos, para localizar, propor e enfrentar problemas que originaram os conhecimentos que irá desenvolver, bem como para dar significado a analogias que são, geralmente, utilizadas de forma descontextualizada, como é o caso da analogia coração bomba.

Para o desenvolvimento de atividades, sobretudo para o Ensino Fundamental e Médio, há uma dinâmica estruturada por três Momentos Pedagógicos empregados em vários contextos (DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, 1990 e 1992; PERNAMBUCO, 1993; SLONGO, 1996; SMESP, 1992) que se articula com uma perspectiva problematizadora do Ensino de Ciências. Os autores denominam esses momentos de: 1) Problematização Inicial; 2) Organização do Conhecimento; e 3) Aplicação do Conhecimento.

Delizoicov, D. (1991, 2001); Delizoicov, D., Angotti e Pernambuco, (2002), fundamentando-se em Snyders (1988) e Freire (1975), enfatizam que, associada à compreensão de problema como gênese do conhecimento, há a dimensão da problematização como eixo estruturador da atividade docente, que, em termos da sala de aula, se concretiza nos mencionados três Momentos Pedagógicos, em que cada um deles se relaciona com qualidades distintas de problemas a serem abordados no processo de ensino-aprendizagem. Na argumentação desses autores, trata-se de organizar a atividade didático-pedagógica de modo que o processo de continuidade-ruptura (SNYDERS, 1988; FREIRE, 1975) envolvido na apropriação de conhecimento pelo aluno possa ser efetuado.

Na Problematização Inicial apresentam-se ao aluno questões relacionadas a um problema proposto e que lhe é familiar, podendo-se explorar explicações advindas da sua experiência de vida, por exemplo. No caso da circulação sanguínea, questões como: a quantidade de sangue que cada indivíduo possui em seu próprio corpo; se essa quantidade está relacionada com o tamanho, peso e idade do indivíduo; como essa quantidade se mantém relativamente constante; como o sangue se mantém em movimento constante no corpo humano; como funciona o coração; o que faz o sangue se movimentar no corpo; etc.

Questões como essas tendem a levar o aluno a se pronunciar com os conhecimentos que já detém, advindos de sua experiência de vida, que incluiu a participação em processos educativos escolares, podendo fazer emergir possíveis modelos explicativos e, até mesmo, aqueles que o professor irá abordar. Mesmo que não emerja, necessariamente, uma explicação em sintonia com a que será abordada pelo professor, uma vez que o aluno pode ter construído algo diferente a respeito do que se problematizou, as questões apresentadas devem ter potencialmente capacidade de fazer com que ele, pelo menos, comece a refletir sobre as situações explicitadas.

Inicialmente, essas questões podem ser discutidas em pequenos grupos de alunos. Em seguida, as respostas consensuais, ou não, no grupo deverão ser expostas aos demais colegas da sala, quando, então, a discussão estende-se para o grande grupo de alunos. A posição do professor nesse momento do grande grupo é mediar e incentivar a discussão, solicitar esclarecimentos para as posições colocadas pelos diferentes grupos de alunos e não fornecer respostas ou explicações à(s) questão(ões) propostas. A intervenção do professor será a de identificar nas posições dos alunos as contradições e limitações do conhecimento que eles detêm para a compreensão do problema proposto. Enfim, esse primeiro momento destina-se a levar o aluno a se conscientizar da necessidade de buscar outros conhecimentos para o enfrentamento do problema em discussão.

O segundo momento, denominado de Organização do Conhecimento, destina-se ao estudo sistemático do conhecimento sobre a circulação sanguínea. A intervenção do professor far-se-á pela organização de atividades e seleção de textos e de recursos que julgar necessário para auxiliar o aluno a se apropriar de conhecimentos científicos. Sua função é propiciar um aprofundamento conceitual na medida em que pode articular definições e conceitos que estão sendo desenvolvidos a fenômenos e situações que são melhor compreendidos a partir do uso da conceituação científica em pauta na atividade.

Obviamente, questões que só exigem repetição mecânica e memorização têm papel limitado para promover a compreensão pretendida. Podem-se abordar aspectos históricos propriamente ditos, como forma de elucidar as questões propostas, particularmente, para dar significação

às analogias usadas. A análise do episódio histórico aqui explorado pode contribuir para o planejamento das ações docentes.

Aplicação do Conhecimento – esse momento destina-se a explorar o conhecimento de que o aluno apropriou-se para analisar e interpretar as questões iniciais que determinaram o estudo por ele realizado, bem como a utilização desse conhecimento para o enfrentamento de outras situações que, embora distintas das iniciais, podem ser compreendidas com a utilização do mesmo conhecimento.

No caso da circulação sanguínea humana, os desdobramentos são variados, desde a compreensão do funcionamento de aspectos do próprio corpo, como relacionar esses conhecimentos para a compreensão da circulação que ocorre em outros animais, até os aspectos relacionados à própria saúde dos indivíduos. Por sua vez, pode ser explorada de modo sistemático uma compreensão sobre o processo de produção de conhecimento científico em sintonia com as proposições epistemológicas pós-empirismo lógico, propiciada por leitura de caráter histórico-epistemológico, especialmente, selecionada ou preparada pelo professor. O texto histórico apresentado neste capítulo pode ser usado como um subsídio ao professor.

Referências

BADILLO, R. G.; MIRANDA, R. P. Y.; TORRES, A. P. G. Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências*, 8, 1: 359-375, 2009. Disponível em: < http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 20 nov. 2011.

BARISTETI, C. B. et al. A abordagem do sistema de grupo sanguíneo ABO nos livros didáticos de ciências e Biologia. Florianópolis: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2007.

BATISTA, R. P., MOHR, A., FERRARI, N. Análise da História da Ciência em livros didáticos do Ensino Fundamental em Santa Catarina. Florianópolis: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,* 2007.

BERNAL, J. D. *Ciência na História*. Lisboa: Livros Horizonte Ltda, v. 1 e 2, 1975 e 1976.

BIZZO, N. História da Ciência e Ensino: Onde Terminam os Paralelos Possíveis? Brasília: *Em Aberto*, ano 11, 55, 29-35, 1992.

BIZZO, N. História de la ciencia y enseñanza de la ciencia: ¿Qué paralelismo cabe estabelecer. *CL & E: Comunicación, lenguaje y educación*, 18, 05-14. 1993.

BORGES, R. M .R. e BORGES K. R. Concepções de licenciandos em Ciências Biológicas sobre a natureza do conhecimento científico. Atibaia, São Paulo: In*: Atas do III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2001.

BRAGA, M., Guerra, A. e Reis, J. C. *Breve História da Ciência Moderna*. v. 1, 2, 3, e 4. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.

BUTTERFIELD, H. *Los Orígenes de la Ciencia Moderna*. Madrid: Taurus Ediciones S. A, 1982.

CARAÇA, B. J. *Conceitos Fundamentais da Matemática*. Lisboa: Gráfica Brás Monteiro, 1975.

CASTILHO, N.; DELIZOICOV, D. Trajeto do sangue no corpo humano: instauração – extensão – tansformação de um estilo de pensamento. São Paulo: In: *Atas do II° Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,* 1999.

COHEN, R.; Schnelle, T. (Ed.) *Cognition and Fact*. Dodercht: Reídle, 1986.

CONDÉ, M. L. L. Paradigma versus Estilo de Pensamento na História da Ciência. In: FIGUEIREDO, B. G.; Condé, M. L. L. (Org.) *Ciência, História e Teoria* Belo Horizonte: Argumentum Editora Ltda, 2005. (p. 123-146).

DANGELO J. G.; FATTINI, C. A. *Anatomia Humana Básica*. São Paulo: Livraria Atheneu, 1984.

DÉCOURT, L. V. O mecanismo da circulação do sangue. A verdade pela obra de Harvey. *Arquivo Brasileiro de Cardiologia*, 54, 1, 41-41, 1990.

DELIZOICOV, D. Fleck e a epistemologia pós-empirismo lógico. In: FÁVERO, M. H.; CUNHA, C. (Org.) *Psicologia do Conhecimento – O diálogo entre as ciências e a cidadania.* Brasília: Liber Livro Editora, 2009. (p. 233-258).

DELIZOICOV, D. et al. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. *Caderno Brasileiro do Ensino de Física*, 19, número especial, 52-69, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A P.; PERNAMBUCO, M. M. A. *Ensino de Ciências – Fundamentos e Metodologias.* São Paulo: Ed. Cortez, 2002.

DELIZOICOV, N. C., CARNEIRO, M. H.; DELIZOICOV, D. O Movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o de seu ensino. *Ciência & Educação*, 10, 3, 443-460, 2004.

DELIZOICOV, N. C. *O movimento do sangue no corpo humano: história e ensino*. 2002. Tese. (Doutorado em Educação). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

DELIZOICOV, N. C.; ERN E. A analogia "coração-bomba" no contexto da disseminação do conhecimento. Bauru, São Paulo: *Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,* 2003.

DELIZOICOV, Nadir C. Ensino do sistema sanguíneo humano: a dimensão histórica-epistemológica. In: SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no Ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. (p. 265-286).

FERRARI, N.; SCHEID, N. M. J.; História do DNA e Educação Científica. In: SILVA, Cibelle Celestino. *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. (p. 287-303).

FLECK, L. *La Génesis y el Desarrollo de un Hecho Científico*. Madrid: Alianza Editorial, ([1935] 1986).

FLECK, L. On the Crisis of "Reality". In: COHEN, R. S.; SCHENELLE, T. (Org.). *Cognition and Fact: Materials on Ludwik Fleck,* Dordrecht: D. Reidel Publishing Company ([1929] 1990). (p. 47-57).

FLECK, L. Some specific features of the medical way of thinking. In : LÖWY, I. (comp., transl. and introd.). *The Polish school of philosophy of medicine: from Tytus Chalubinski to Ludwik Fleck.* Dordercht: Reidel, ([1927] 1990). (p. 39-46).

FLECK, L. *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum ([1935] 2010).

FRIEDMAN, M. e FRIEDLAND, G. *As dez maiores descobertas da Medicina.* São Paulo: Cia. das Letras, 2000.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação,* 7, 2, 125-153. 2001.

GIORDAN, A. *Histoire de la Biologie.* Paris: TEC e DOC – Lavoisier, 1987.

GIORDAN, A.; VECCHI, G. *As origens do saber*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GIROUX, H. *Teoria Crítica e Resistência em Educação.* Petrópolis: Vozes, 1996.

GOWDAK, D.; MATTOS, N. S. *Biologia*. São Paulo: FTD, v. único, 1991.

GUISASOLA, J.; Morentin, M. Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências*, 6, 2: 246-262, 2007. Disponible em: < http://www.saum.uvigo.es/reec>.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de Fisiologia Médica.* 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, S.A., 1997.

HARRES, J. B. S. Uma revisão nas pesquisas sobre as concepções de professores sobre a Natureza da Ciência e as implicações para o Ensino de Ciências. *Investigações no Ensino de Ciências,* 4, 3, 197-211, 1999.

HARVEY, W. *Estudo anatômico sobre o movimento do coração e do sangue nos animais.* São Paulo: Departamento de Filosofia – USP. Tradução de Regina André Rebollo, ILSE, J.; LOTHER, R. e SENGLAUB, K. *Historia de la Biología. Teorias, Métodos, Instituiciones y Biografias Breves*. Barcelona: Editorial Labor, 1989.

KEY, J. D.; KEYS, T. E.; CALLAHAN, J. A. Historical Development of Concept of Blood Circulation - An Anniversary Memorial Essay to William Harvey. The *American Journal of Cardiology,* 43, 1026-1032, 1979.

KOYRÉ, A. *Estudos da História do Pensamento Científico.* Brasília: Ed. da UNB, 1982.

LEITE, R. C. M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A história das Leis de Mendel na perspectiva fleckiana. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1, 2, 97-108, 2001.

LIMA, S. G.; CARNEIRO, M. C.; BATISTETI, C. B. História da ciência nos livros didáticos: a sua utilização pelos professores no ensino da circulação sanguínea. Florianópolis: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2007.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. *Biologia Hoje*. São Paulo: Ática, 1998.

LORENZANO, C. Los ancentros de Thomas Kuhn (Homenaje a Ludwik Fleck). In: MARTINS, R. A. et al. (Org.) *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul: 3º Encontro* Campinas: AFHIC, 2004. (p. 91-101).

LÖWY, I. Ludwik Fleck e a presente História das Ciências. *História Ciências Saúde – Manguinhos*, 1, 1, 7-18, 1994.

MATTHEWS, M. R. Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La Aprocimación Actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 2, 255-277, 1994.

MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Brasília: Ed. da UNB, 1998.

MELO, J. M. S. *A Medicina e sua história*. Rio de Janeiro: Ed. de Publicações Científicas, 1989.

MORENO, E. R.; GATICA, M. Q. Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências,* 9, 1: 111-124, 2010. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

NAMORA, F. *Deuses e Demônios da Medicina*. Sintra: Publicações Europa América, 1989.

NARDI, R. (Ed.). *Ciência & Educação*, 10, 3, 2004. (Periódico composto por artigos que abordam a relação História e Filosofia da Ciência e Ensino das Ciências Naturais).

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H.; TRIESTE Freire Ricci, T. F.; PRADO, S. D. Tradição de pesquisa quântica: uma interpretação na perspectiva da epistemologia de Larry Laudan. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências*, 7, 2: 366-386, 2008. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da ciência no ensino: considerações críticas. In: PIETROCOLA M. (Org.) *Ensino de Física – conteúdo, metodología e epistemología numa concepção integrada* Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. p. 151-170.

PEREIRA, A. I.; AMADOR, F. A História da Ciência em manuais escolares de Ciências da Natureza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências, 6*, 1: 191-216, 2007. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

PORTER, R. Willian Harvey and the New Science. In: PORTER R. *The Cambridge Illustrated Medicine.* Cambridge: University Press, 1996. p. 158-162.

PORTO, C. C. et al. O sistema circulatório de Galeno a Rigatto. *Arquivo Brasileiro de Cardiologia*, 56, 1, 43-50, 1991.

PORTO, M. A. A circulação do sangue, ou o movimento do conceito de movimento. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 1, 1, 19-34, 1994.

PRAIA, J.; PERES, D. G; VILCHES, A. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação,* 13, 2, 141-156, 2007.

RADL, E. M. Hasta el siglo XIX. In: RADL. E. M. *História de las teorías biológicas.* Madrid: Alianza Editorial, 1988. p. 129-149.

REIS, P.; GALVÃO, C. O diagnóstico de concepções sobre os cientistas através da análise e discussão de histórias de ficção científica redigidas pelos alunos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências, 5*, 2: 213-234, 2006. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 20 nov. 2011.

SANTOS, S. E. La perspectiva histórica de las relaciones Ciência-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,* 2, 3: 399- 415, 2003. Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 20 nov. 2011.

SCHEID, N. M. J; FERRARI, N; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação,* 11, 2, 223-233, 2005.

SCOARIS, R. C. O.; BENEVIDES-Pereira, A. M. T.; SANTIN FILHO, O. Elaboração e validação de um instrumento de avaliação de atitudes frente ao uso de História da Ciência no Ensino de Ciências. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,* 8, 3: 901-922, 2009. Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 20 nov. 2011.

SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no Ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SINGER, C. *Uma breve história da anatomia e fisiologia desde os gregos até Harvey.* Campinas: Ed. da UNICAMP, [1956] 1996.

SLONGO, I. I.; DELIZOICOV, D. Reprodução humana: abordagem histórica na formação dos professores de Biologia. *Contrapontos*, 3, 3, 435-447, 2003.

SLONGO, I. I. P. *História da Ciência e Ensino: contribuições para a formação do professor de Biologia*. 1996. Dissertação. (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

SMITHS, C. U. M. *El problema de la vida*. Madrid: Alianza Editorial, (1975) 1977.

SOARES, J. L. *Biologia*. São Paulo: Scipione, v. único, 2001.

TATON, R. (Direção). *A Ciência Antiga e Medieval*. São Paulo: Difusão Européia do Livro. Tomo I, 2, 1959.

ZANETIC, J. Mesa-redonda: Influência da História da Ciência no Ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5, número especial, 76-92, 1988.

SOBRE OBSTÁCULOS E PERFIS: PERSPECTIVAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS A PARTIR DA EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD

CAPÍTULO 10

André Ferrer P. Martins

Introdução

O terreno da pesquisa em Ensino de Ciências que busca fundamentar-se no campo epistemológico[1] é fértil. Análises do desenvolvimento histórico do conhecimento científico e de sua produção atual têm fornecido, do ponto de vista teórico, elementos norteadores importantes para uma série de questões educacionais.

Assim é que, de um lado, a epistemologia tem sido utilizada tanto para fundamentar modelos de ensino-aprendizagem – tais como o Modelo de Mudança Conceitual (POSNER et al., 1982) – como também para criticá-los, a exemplo de Villani (1992), Matthews (1994), Osborne (1996), Ogborn (1997), Geelan (1997), Marín Martínez et al. (1999), Laburu; Carvalho (2005). Por outro lado, uma compreensão adequada da ciência e de seu desenvolvimento tem sido vista como relevante no tratamento de questões que envolvem a *natureza da ciência* em sala de aula, (ver, por exemplo, McComas et al. (1998), Santos (2001), Fernández et al. (2002), Adúriz-Bravo (2006), Lederman (1992; 2007)).

As relações entre *concepção epistemológica e processo de ensino-aprendizagem*, no entanto podem ser complexas, sutis e delicadas. O modo como *aprendemos* ciência e o modo como ela deve ser *ensinada* (caso fosse possível separar o ensino da aprendizagem...) certamente podem se instruir de análises do desenvolvimento histórico-filosófico da ciência. Isso se dá não apenas por uma questão de conteúdo – afinal a ciência é o *objeto* em torno do qual dialogam professores e alunos – mas também, principalmente porque existem paralelos entre a evolução das ideias científicas e o desenvolvimento cognitivo dos alunos.[2] Dessa forma, o aprender e ensinar ciência tem muito a ganhar com a epistemologia, que não precisa fornecer o modelo ou paradigma a partir do qual o processo de ensino-aprendizagem deva ser pensado, mas pode, sem dúvida, *informar* esse processo, dialogar com ele.

[1] Utilizaremos *epistemologia* como sinônimo de *teoria do conhecimento científico*, concordando com a ideia de que "a epistemologia, em sua versão contemporânea, se propõe ao estudo da natureza do conhecimento científico e das circunstâncias de sua produção" (MORENO; WALDEGG, 1998, p. 422). Nessa acepção, há uma grande sobreposição com o que se costuma chamar, na literatura da área de pesquisa em Ensino de Ciências, de *Filosofia da Ciência*.

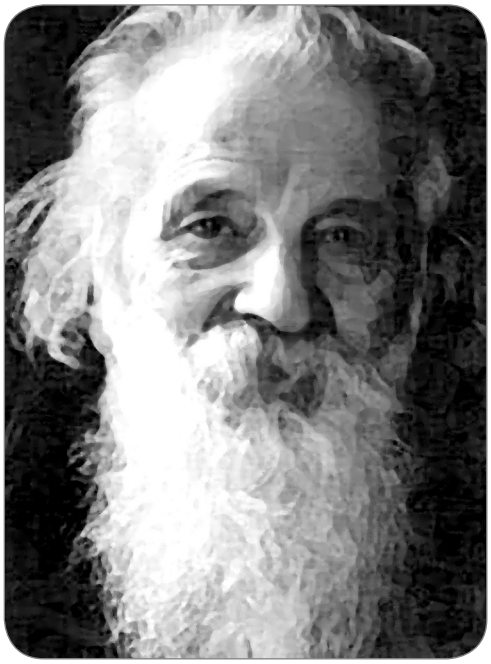
[2] Esse último ponto, para o qual Piaget e Garcia (1987) já haviam chamado a atenção há bastante tempo não significa, entretanto, que haja um paralelismo estreito e linear entre concepções existentes na história e ideias manifestas pelos alunos (concepções alternativas). Um professor que conheça um pouco de História da Ciência e esteja atento às ideias dos seus alunos em sala de aula sabe bem do que estamos falando.

Um posicionamento no campo epistemológico que consideramos bastante frutífero nessa direção nos é ofertado pela epistemologia de Gaston Bachelard (1884-1962). Pela própria natureza de suas ideias, que utiliza a História da Ciência como laboratório epistemológico e faz diversas referências a questões pedagógicas, Bachelard é um autor que tem muito a dizer para os professores de ciências.

Diversos autores têm explorado a riqueza das ideias bachelardianas, com maior ou menor pretensão de relacioná-las a questões relativas ao ensino, a exemplo de: Santos (1989; 1998), Good (1993), Lopes (1993; 1996), Mortimer, 1996; 2000), Oliveira (2000), Delizoicov (2001), Bulcão (1999), Barbosa e Bulcão (2004), Lobo (2007), Staub e Peduzzi (2007). Essa lista é bastante extensa, se considerarmos a vertente *noturna* do nosso autor, no entanto, nosso foco é a vertente *diurna*[3] de Bachelard e as noções que sua epistemologia nos traz. Especificamente, trataremos das noções de *obstáculo epistemológico* e de *perfil epistemológico*.

Nossa intenção não é a de apresentar esses conceitos de modo detalhado. Num breve capítulo isso seria uma temeridade. Portanto, recomendamos ao leitor que busque esse aprofundamento nos trabalhos já citados, caso julgue necessário. Pretendemos retomar os conceitos bachelardianos de obstáculo e de perfil epistemológico para apontar certas perspectivas que se abrem, a nosso ver, para a pesquisa em Ensino de Ciências a partir desse referencial.

Figura 1 – Gaston Bachelard (1884 – 1962)



[3] A obra de Bachelard costuma ser dividida em duas vertentes: a *diurna,* que compreenderia os trabalhos dedicados à análise do conhecimento científico e de sua produção; e a *noturna*, com obras voltadas à crítica literária e à análise do imaginário poético. Embora essa divisão seja artificial, é muitas vezes usada.

Obstáculos epistemológicos: ciência e sala de aula

[...] o que existe de mais imediato na experiência primeira somos nós mesmos, nossas surdas paixões, nossos desejos inconscientes.

Gaston Bachelard

A obra *A formação do espírito científico,* Bachelard (1996), foi publicada originalmente em 1938 e trouxe uma novidade à análise da ciência e de seu desenvolvimento. Em vez de pensarmos nos caminhos que levariam a um conhecimento verdadeiro, seguro, correto sobre as coisas, Bachelard nos propõe uma inversão: que pensemos a ciência a partir de seus *erros*, de seus tropeços e desvios de caminho. Para ele, é em termos de *obstáculos* que devemos colocar a questão do conhecimento científico, de sua evolução histórica.

Tais obstáculos são identificados como *epistemológicos*, pois surgem no próprio ato de conhecer, na relação mesma do sujeito com o objeto do conhecimento. Não se deve confundi-los com a fugacidade dos fenômenos a investigar ou com dificuldades de ordem prática e/ou técnica. Eles são uma espécie de *imperativo funcional*, característicos do processo de construção do conhecimento pelo sujeito psicológico.

Analisando o desenvolvimento histórico da ciência, e profundamente impressionado pela nova Física do século XX (Teoria da Relatividade e Mecânica Quântica), Bachelard sinaliza para o *vetor de abstração* que caracteriza a evolução da ciência. A ciência do seu tempo já era altamente matematizada, lidando com *objetos teóricos* distanciados do real imediato. E, ao olhar retrospectivamente essa construção, Bachelard percebe o quanto ela foi árdua.

Inevitavelmente, na visão de nosso autor, carregamos valores, intuições, hábitos, pré-conceitos em nossa investigação dos fenômenos, o que faz surgir obstáculos ao conhecimento que se pretende objetivo. Esses obstáculos são difíceis de serem percebidos e desalojados, e carregam, muitas vezes, marcas de nossa subjetividade. O *espírito científico* deve se formar *contra* as experiências primeiras e imediatas, *contra* a opinião. O primeiro conhecimento é, fatalmente, o primeiro erro.

Bachelard dedica a obra *A formação do espírito científico* para uma análise exaustiva de diversos tipos de obstáculos epistemológicos. Busca, principalmente, na literatura científica do século XVIII, exemplos da presença de obstáculos epistemológicos no espírito pré-científico. Assim é que nos apresenta: a experiência primeira, o conhecimento geral, o obstáculo verbal, o conhecimento unitário e pragmático, o obstáculo substancialista, o pensamento realista, o obstáculo animista e a libido, e os obstáculos ao conhecimento quantitativo. São exemplos de *contrapensamentos*, de valorizações indevidas que entravam o conhecimento. Sem a pretensão de detalhamento, falemos brevemente de alguns obstáculos.

A *experiência primeira*, por exemplo, relaciona-se à tentativa de compreender o real a partir de um "dado" claro e nítido. Bachelard nos fala de um *empirismo evidente e básico*, que coloca os *fatos* antes das *razões*, que não reflete para experimentar. Vejamos um trecho:

> É tão agradável para a preguiça intelectual limitar-se ao empirismo, chamar um fato de fato e proibir a busca de leis! Ainda hoje os maus alunos de física 'compreendem' as fórmulas empíricas. Acham que todas as fórmulas, inclusive as que decorrem de uma teoria bem organizada, são empíricas. Pensam que a fórmula não passa de um conjunto de números disponíveis, que basta aplicar a cada caso particular. (BACHELARD, 1996, p. 37).

Há muito de concreto e subjetivo nas experiências primeiras. Ao contrário, o espírito científico deve buscar a racionalização da experiência, inserindo-a num *jogo de razões múltiplas*:

> Em resumo, no ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno. A experiência é feita para ilustrar um teorema. (BACHELARD, 1996, p. 50).

Já o *obstáculo verbal* refere-se ao caso em que uma única imagem pode constituir toda a explicação. Bachelard cita o caso da esponja, e como ela pôde tornar-se uma verdadeira *categoria empírica*, capaz de servir de metáfora aos fenômenos mais heterogêneos. Nesse caso, a própria palavra parece carregar a função, levando o espírito a aceitar imagens fáceis, a reconhecer metáforas como realidades (MARTINS, 2007). Professores de Física sabem que a expressão *choque térmico* funciona como um obstáculo dessa natureza: os alunos a aplicam aos mais variados tipos de fenômenos, como se a simples menção dessa expressão contivesse um princípio explicativo. Trata-se de um obstáculo que acumula e funde uma série de imagens, tanto elétricas (choque elétrico) como mecânicas (colisão), mas pensadas para os fenômenos térmicos.

Também se constituem em obstáculos os conhecimentos *unitário* e *pragmático*. Bachelard avalia que generalizações amplas, de caráter filosófico, como a formulação de *princípios gerais da natureza*, podem pôr fim às experiências e esconder as contradições dessa mesma experiência. A crença numa *unidade harmônica do mundo*, por exemplo, levou o espírito pré-científico a analogias amplas e indevidas (astros e metais, metais e partes do corpo). Ao contrário, é uma característica da ciência contemporânea saber manter sistemas isolados. Por sua vez, o pragmatismo pode levar à convicção de que "encontrar uma utilidade é encontrar uma razão" (BACHELARD, 1996, p. 115). Uma característica da mentalidade pré-científica seria a ligação entre o verdadeiro e o útil.

Bachelard defende que é a superação dos obstáculos que leva ao avanço do conhecimento. É preciso afastar os erros um a um. Nesse processo de *retificação* do conhecimento, o afastamento sucessivo dos erros faz surgir o conhecimento científico como *um conjunto de erros retificados*. Daí, que Bachelard defenda que se faça a *psicanálise do conhecimento objetivo*, que caracteriza como uma *verdadeira catarse intelectual e afetiva*. Mas essa não é, como pode parecer à primeira vista, uma ação individual. Somente no contexto da *cidadela dos sábios* – que chamaríamos hoje de comunidade científica – é que tal processo tem significado e possibilidade de ocorrer.

> Para ter certeza de que o *estímulo* deixou de ser a base de nossa objetivação, para ter certeza de que o controle objetivo é uma *reforma* em vez de um eco, é preciso chegar ao *controle social*. A partir de então – mesmo que nos acusem de cair num círculo vicioso – propomos que a objetividade seja fundada no comportamento do outro, ou ainda, para logo revelar o aspecto paradoxal de nosso pensamento, pretendemos escolher o olho do outro – sempre o olho do outro – para ver a forma – a forma felizmente abstrata – do fenômeno objetivo: Dize-me o que vês e eu te direi o que é. Só esse circuito, na aparência insensato, pode nos dar alguma garantia de que fizemos completa abstração de nossas idéias primeiras.
>
> [...]
>
> Essa catarse prévia, não a podemos efetuar sozinhos, e é tão difícil empreendê-la como psicanalisar a si mesmo. [...] Essa pedagogia apurada exigiria sociedades científicas complexas, sociedades científicas que, além do esforço lógico, fizessem um esforço psicológico. (BACHELARD, 1996, p. 295, 298-299, grifos do autor).

O conceito de obstáculo epistemológico tem forte aproximação com questões do Ensino de Ciências. O próprio Bachelard, cuja obra traz uma série de referências e implicações à educação, salienta que a noção de obstáculo epistemológico "pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação" (BACHELARD, 1996, p. 21). A isso, acrescenta:

> Na educação, a noção de obstáculo epistemológico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. [...] Os professores de Ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (BACHELARD, 1996, p. 23).

Já podemos perceber isso a partir dos próprios exemplos de obstáculos que abordarmos, quando falamos – propositadamente – de situações de sala de aula (como o *choque térmico*).

São bastante conhecidas, na pesquisa em Ensino de Ciências, as chamadas *concepções alternativas*, que fazem referência ao conjunto de concepções manifestas pelos alunos e que estão, via de regra, em desacordo com as noções científicas que se pretende ensinar. Há uma infinidade de trabalhos na literatura especializada reportando concepções de alunos (e professores) sobre os mais variados temas. Qual a relação entre essas concepções e os obstáculos epistemológicos bachelardianos? De que modo a epistemologia de Bachelard nos auxilia a compreender a sala de aula de ciências?

É preciso tomar certos cuidados para não estabelecermos uma correspondência direta entre concepções alternativas e obstáculos epistemológicos. As primeiras correspondem a representações dos sujeitos sobre os fenômenos, a partir de suas vivências e experiências como atores no mundo físico e social. Dizem respeito, primeiramente, ao *conteúdo* do pensamento. São exemplos de concepções alternativas as bem conhecidas ideias dos alunos sobre a queda dos corpos (o mais pesado cai primeiro), sobre calor e temperatura (indiferenciação entre os dois conceitos), estações do ano (o verão ocorre quando a Terra está mais próxima do Sol), evolução (sobrevivência do mais forte), entre muitos outros.

Por sua vez, os obstáculos epistemológicos estariam mais vinculados à *forma* do que ao conteúdo do pensamento. De certo modo, comporiam o grupo de razões que nos ajudariam a entender as origens das concepções alternativas. Dito de outra maneira, muitas das concepções alternativas seriam *expressões* da existência dos obstáculos epistemológicos. Essa visão implica na compreensão de que o obstáculo é algo mais geral, que pode se desdobrar em mais de uma concepção alternativa. Por exemplo, o obstáculo substancialista estaria por trás de concepções do calor como fluido (calórico), da eletricidade como fluido, do éter luminífero etc. A ideia de esponja como categoria empírica e o uso da expressão *choque térmico* também seriam exemplos de um mesmo obstáculo: o verbal. Da mesma forma, o animismo se manifesta de diversas maneiras. E assim por diante.

Embora essa ideia possa parecer simples, temos encontrado pessoas que associam as concepções diretamente aos obstáculos, afirmando, por exemplo, que "a visão do calor como fluido é um obstáculo epistemológico". Trata-se de um "curto-circuito"! Ora, o obstáculo é o substancialismo, o pensamento realista, que reflete os valores e impurezas que o sujeito carrega em sua investigação dos fenômenos, ainda não corrigidas – como diz Bachelard – pelas "repreensões do objeto". A representação do calor como fluido é apenas um exemplo da presença desse tipo de obstáculo.

Uma boa maneira de evitar esse "curto-circuito" é perceber traços semelhantes das concepções alternativas para diferentes conteúdos. San-

tos (1998) aponta tais traços, denominando-os de *tendências do pensar*. Alguns exemplos seriam (SANTOS, 1998, pp. 104-110): a) tendência para substancializar ("coisificar") certas noções abstratas ou percepções sensoriais; b) tendência para explicações finalistas e artificialistas, egocêntricas ou baseadas em pontos de vista humanos, e causais teleológicas; c) tendência para atribuição de sentimentos e intenções a objetos inertes, por meio de explicações animistas e antropomórficas; entre outras. Essas "tendências do pensar" representam elementos aglutinadores de diferentes concepções alternativas e, do mesmo modo que os obstáculos epistemológicos, ajudam a evidenciar a existência de formas de pensamento comuns a diferentes conteúdos.

A abordagem bachelardiana dos obstáculos também traz outra mensagem importante para o ensino das ciências: a inevitabilidade dos obstáculos faz com que o *erro* seja algo natural na ciência e em sua história – tanto quanto na sala de aula. É, antes, a consciência do erro que pode levar à superação dos obstáculos. Assim, o erro adquire uma conotação positiva, útil. Bachelard trata brevemente dessa questão no último capítulo de *A formação do espírito científico*, quando trata do processo de retificação dos erros e salienta a necessidade de uma *catarse prévia* para a psicanálise do conhecimento objetivo.

> Já que não há operação objetiva sem a consciência de um erro íntimo e primeiro, devemos começar as lições de objetividade por uma verdadeira confissão de nossas falhas intelectuais. [...] Juntos, vamos acabar com o orgulho das certezas gerais e com a cupidez das certezas particulares. [...] E murmuremos, por nossa vez, dispostos para a vida intelectual: erro, não és um mal. [...] É então que se tem acesso ao erro positivo, ao erro normal, ao erro útil. (BACHELARD, 1996, p. 297-298).

Seria equivocado, portanto, considerar a noção bachelardiana de obstáculo epistemológico apenas em seu aspecto negativo, como um *entrave*. O professor de ciências, orientado pela epistemologia bachelardiana, olhará os erros de seus alunos de um modo diferente: não como meras falhas a serem corrigidas, mas como reflexos, muitas vezes, de pensamentos a serem retificados, na medida em que possam ser expressões da existência de obstáculos epistemológicos. O erro assume uma importância pedagógica fundamental.

O professor salientará, ainda, o caráter de ruptura entre a ciência e as observações primeiras e imediatas. Apontará diferenças entre os significados dos conceitos científicos e os de mesmo nome, no contexto dos conhecimentos cotidianos (MARTINS, 2009). Daí a importância da *metacognição*, de um processo que permita a reflexão sobre as próprias concepções, suas origens e alcances.

Já o pesquisador em Ensino de Ciências que abrace a epistemologia de Bachelard terá à sua frente um campo aberto de possibilidades.

Dentre elas, a investigação dos diversos obstáculos epistemológicos que subjazem às concepções alternativas e perpassam os discursos em sala de aula. A construção do conhecimento científico em sala de aula pode ser compreendida como um processo social de "enculturação" (DRIVER et al., 1994), para o qual o conceito de obstáculo epistemológico pode lançar luzes.

Por fim, a epistemologia bachelardiana também oferece uma visão da ciência e de seu desenvolvimento com *valor em si mesma*, o que pode contribuir para os debates em torno da inserção da História e da Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências.

Uma curiosidade: os *ídolos* de Bacon e os obstáculos de Bachelard

Finalizemos a primeira parte deste trabalho, dedicada aos obstáculos epistemológicos e às suas potencialidades pedagógicas, com uma referência ao pensamento do filósofo Francis Bacon (1561-1626) e uma *curiosidade epistemológica*.

Figura 2 – Francis Bacon (1561-1626)

Bacon costuma ter seu nome associado ao empirismo e à ideia de *método científico*. Como um personagem da "virada" do século XVI para o XVII, foi bastante influenciado pelas grandes transformações do seu tempo, momento em que a ciência moderna adquire maturidade. Suas reflexões sobre o conhecimento partem do princípio de que ele deveria estar a serviço do ser humano, voltando-se à vida prática. Para ele, um sistema filosófico deve ser julgado pelos frutos que é capaz de dar. Em sua mais conhecida obra, *Novum Organum*, Bacon afirma: "A verdadeira e

legítima meta das ciências é a de dotar a vida humana de novos inventos e recursos" (BACON, 1997, p. 64).[4]

Segundo o filósofo, se houve (até a sua época) poucos avanços na ciência foi porque os homens – além de gastarem dinheiro, tempo e orgulho em estudos sem importância e utilidade – não tinham um *método* adequado de investigação da natureza. A crítica de Bacon era endereçada à perspectiva aristotélica de obtenção de axiomas gerais a partir da análise de poucos casos particulares.[5] A passagem do particular ao geral não deveria se dar por um *salto*, mas de modo gradativo e fundamentado em fatos, experimentos e uma ampla gama de observações:[6]

> Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma, que consiste no saltar-se das sensações e das coisas particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, descobrirem-se os axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua inamovível verdade. Esta é a que ora se segue. A outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios de máxima generalidade. Este é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado. (BACON, 1997, p. 36. Livro I, afor. XIX).

E acrescenta Bacon:

> Tanto uma como a outra via partem dos sentidos e das coisas particulares e terminam nas formulações da mais elevada generalidade. Mas é imenso aquilo em que discrepam. Enquanto uma perpassa na carreira pela experiência e pelo particular, a outra aí se detém de forma ordenada, como cumpre. Aquela, desde o início, estabelece certas generalizações abstratas e inúteis; esta se eleva gradualmente àquelas coisas que são realmente as mais comuns na natureza. (BACON, 1997, p. 36. Livro I, afor. XXII).

O princípio subjacente à proposta baconiana é a *indução*, caracterizada por uma ascensão gradativa do particular ao geral, via observação e experiências. Uma vez obtidos os axiomas gerais, Bacon alerta-nos que é necessário procedermos a um *exame ou prova*, retornando aos fatos particulares e verificando se esses axiomas encontram-se na *exata medida* dos fatos particulares de que foram extraídos, entretanto, contrariamente a uma visão *indutivista ingênua*, Bacon não concebe a mente humana como algo vazio a ser preenchido com os dados da observação direta. Em sua discussão sobre o conhecimento, o filósofo chama a atenção para as noções falsas que impediriam que a verdade fosse alcançada, identificadas

[4] Embora Bacon enfatize a *utilidade* do conhecimento, não nega a importância dos conhecimentos teóricos. Nesse sentido, fazia distinção entre experimentos *frutíferos* (com consequências práticas diretas) e *lucíferos* (que auxiliam na descoberta de causas e axiomas). Os historiadores costumam frisar que Bacon estava falando da utilidade do conhecimento como um todo, que dizia respeito a uma melhor compreensão e dominação da natureza.

[5] O próprio nome dessa obra de Bacon (*Novum Organum* ou *Verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza*) foi dado em contraposição direta ao *Organon* de Aristóteles.

[6] No *Novum Organum*, Bacon utiliza *aforismos* (espécie de *máxima* ou *sentença moral breve*). Indicamos, nas citações a seguir, além da página, o número do aforismo [afor.] que aparece na obra.

com erros que podem ser cometidos ao se produzir conhecimento. Bacon denomina tais noções de *ídolos*:

> Os ídolos e noções falsas que ora ocupam o intelecto humano e nele se acham implantados não somente o obstruem a ponto de ser difícil o acesso da verdade, como, mesmo depois de seu pórtico logrado e descerrado, poderão ressurgir como obstáculo à própria instauração das ciências, a não ser que os homens, já precavidos contra eles, se cuidem o mais que possam. (BACON, 1997, p. 39, afor. XXXVIII).

Os ídolos de que nos fala Bacon seriam de quatro tipos: da tribo, da caverna, do foro e do teatro. Os *ídolos da tribo* decorrem da própria natureza humana (a espécie humana ou *tribo*) e seriam falhas associadas ao uso direto e imediato dos sentidos, bem como à influência de sentimentos e convicções prévias. Tais falhas podem distorcer e corromper as coisas se não forem corrigidas pela experimentação e pela verdadeira indução. Destaquemos algumas passagens nas quais Bacon nos apresenta essas ideias:

> O intelecto humano, quando assente em uma convicção (ou por já bem aceita e acreditada ou porque o agrada), tudo arrasta para o seu apoio e acordo. E ainda que em maior número, não observa a força das instâncias contrárias, despreza-as, ou, recorrendo a distinções, põe-nas de parte e rejeita, não sem grande e perniciosos prejuízo. Graças a isso, a autoridade daquelas primeiras afirmações permanece inviolada. (BACON, 1997, p. 42, afor. XLVI).

> O intelecto humano não é luz pura, pois recebe influência da vontade e dos afetos, donde se poder gerar a ciência que se quer. Pois o homem se inclina a ter por verdade o que prefere. [...] Enfim, inúmeras são as fórmulas pelas quais o sentimento, quase sempre imperceptivelmente, se insinua e afeta o intelecto. (BACON, 1997, p. 43, afor. XLIX).

> Mas os maiores embaraços e extravagâncias do intelecto provêm da obtusidade, da incompetência e das falácias dos sentidos. [...] Na verdade, os sentidos, por si mesmos, são algo débil e enganador; nem mesmo os instrumentos destinados a ampliá-los e aguçá-los são de grande valia. E toda verdadeira interpretação da natureza se cumpre com instâncias e experimentos oportunos e adequados, onde os sentidos julgam somente o experimento e o experimento julga a natureza e a própria coisa. (BACON, 1997, p. 44, afor. L).

Os *ídolos da caverna* relacionam-se a características dos homens enquanto indivíduos. Mais idiossincráticos, correspondem a equívocos advindos da subjetividade do próprio investigador, ao carregar seus preconceitos, hábitos, história de vida etc. na busca pelo conhecimento. Têm a sua origem na alma e no corpo de cada um, mas também na educação e no hábito. Segundo Bacon, cada homem

> [...] tem uma caverna ou uma cova que intercepta e corrompe a luz da natureza: seja devido à natureza própria e singular de cada um;

> seja devido à educação ou conversação com os outros; seja pela leitura dos livros ou pela autoridade daqueles que se respeitam ou admiram; seja pela diferença de impressões segundo ocorram em ânimo preocupado e predisposto ou em ânimo equânime e tranqüilo; de tal forma que o espírito humano – tal como se acha disposto em cada um – é coisa vária, sujeita a múltiplas perturbações, e até certo ponto sujeita ao acaso. (BACON, 1997, p. 40, afor. XLII).

Já os *ídolos do foro* representam falhas decorrentes das limitações que nos são impostas pela linguagem na compreensão das coisas. Os homens, para Bacon, associam-se graças ao discurso. Mas as palavras são cunhadas e adquirem seus significados pelos usos cotidianos, no campo do conhecimento vulgar. "E as palavras, impostas de maneira imprópria e inepta, bloqueiam espantosamente o intelecto" (BACON, 1997, p. 41, afor. XLIII). Afirma Bacon:[7]

> Os ídolos do foro são de todo os mais perturbadores: insinuam-se no intelecto graças ao pacto de palavras e de nomes. Os homens, com efeito, crêem que a sua razão governa as palavras. Mas sucede também que as palavras volvem e refletem suas forças sobre o intelecto, o que torna a filosofia e as ciências sofísticas e inativas. As palavras, tomando quase sempre o sentido que lhes inculca o vulgo, seguem a linha de divisão das coisas que são mais potentes ao intelecto vulgar. Contudo, quando o intelecto mais agudo e a observação mais diligente querem transferir essas linhas para que coincidam mais adequadamente com a natureza, as palavras se opõem. (BACON, 1997, p. 46, afor. LIX).

Por último, os *ídolos do teatro* são relativos à admissão de falsos sistemas filosóficos e teorias por parte do investigador. Eles não são inatos nem surgem inadvertidamente, mas são incutidos no intelecto. Bacon critica, nesse ponto, as filosofias de Aristóteles e de Platão, bem como a sofística e a alquimia, dentre outras posições filosóficas.

Os ídolos de Bacon guardam certa semelhança com a noção bachelardiana de obstáculo epistemológico, como certamente o leitor já percebeu, no entanto, não seria apropriado estabelecermos uma ligação direta entre cada tipo de ídolo e um determinado obstáculo. O próprio Bachelard nos chama a atenção para o *polimorfismo* dos obstáculos, o que reforça essa convicção. Por outro lado, um exercício de comparação é inevitável e salutar.

Do ponto de vista bachelardiano, os ídolos da tribo e da caverna estão mais diretamente associados à experiência primeira e ao pensamento realista (que, para Bachelard, é *a única filosofia inata*). Bachelard não separa o que seria *da espécie* daquilo que seria *do indivíduo*, como procurou fazer Bacon. As idiossincrasias individuais não invalidam, porém, os aspectos gerais que a noção de obstáculo possui. Isso fica mais claro quando nos voltamos, novamente, ao Ensino de Ciências, onde, por exemplo, dois sujeitos podem apresentar concepções diferentes sobre um determinado assunto, mas, ambas, refletindo a presença do mesmo obstáculo epistemológico.

[7] Para o filósofo, há duas espécies de ídolos do foro: nomes de coisas que não existem e nomes de coisas que, apesar de existirem, são confusos e abstraídos das coisas de forma inadequada.

Além da experiência primeira e do pensamento realista, aspectos discutidos por Bachelard com referência aos obstáculos substancialista e animista também podem ser associados aos ídolos da tribo e da caverna.

Uma associação mais direta existe entre os ídolos do foro e o obstáculo verbal, muito embora Bachelard ressalte o fato de a palavra ganhar um poder de explicação, tornar-se uma categoria empírica. Mais do que a existência de significados diversos, vulgares e/ou nebulosos, a preocupação maior de Bachelard é com as imagens que uma palavra carrega, no entanto, o papel da linguagem como obstáculo à construção de um conhecimento objetivo une os dois autores.

Já os ídolos do teatro estão mais próximos do que Bachelard denominou de conhecimento unitário, apresentando também certa relação com o conhecimento geral. Bacon exemplifica sua ideia citando sistemas filosóficos em particular, enquanto Bachelard preocupa-se com as generalizações amplas e a formulação de *princípios gerais da natureza*. Ambos sinalizam para um mesmo problema: a adoção inadvertida de sistemas gerais e fechados de pensamento.

Finalizando essa breve incursão pelas similaridades entre os ídolos baconianos e os obstáculos bachelardianos, caberia ainda dizer que, para ambos, as noções falsas ou obstáculos devem ser afastados ou superados. Em Bachelard, trata-se da *psicanálise do conhecimento objetivo*, a que fizemos alusão. Em Bacon, de modo diverso, o *método* apropriado (a verdadeira indução) é que seria o remédio para afastar os ídolos. Também para esse último deveria haver uma espécie de *catarse*:

> Já falamos de todas as espécies de ídolos e de seus aparatos. Por decisão solene e inquebrantável todos devem ser abandonados e abjurados. O intelecto deve ser liberado e expurgado de todos eles, de tal modo que o acesso ao reino do homem, que repousa sobre as ciências, possa parecer-se ao acesso ao reino dos céus, *ao qual não se permite entrar senão sob a figura de uma criança.* (BACON, 1997, p. 54, afor. LXVIII).[8]

Perfil epistemológico: ciência e sala de aula

> *Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o* perfil epistemológico *das diversas conceptualizações. Seria através de um tal perfil mental que poderia medir-se a acção psicológica efectiva das diversas filosofias na obra do conhecimento.*
>
> *Gaston Bachelard*

[8] Grifos do tradutor. Referência ao original, em latim: *in quod, nisi sub persona infantis, intrare non datur* (Mateus, 18, 3).

O perfil epistemológico é outro conceito bachelardiano com grande potencial de utilização no ensino e na pesquisa em Ensino de Ciências. Bachelard (1991) apresenta-o em sua obra *A Filosofia do Não*. No terreno propriamente epistemológico, a proposta do perfil parte da ideia de que uma única perspectiva filosófica não seria suficiente para explicar adequadamente o desenvolvimento histórico da ciência. Nem o empirismo, nem o racionalismo – isolados – dão conta da complexidade da ciência e de seu processo de diálogo com o real.

A partir disso Bachelard pede aos filósofos a liberdade de tomar de empréstimo elementos de diversas correntes filosóficas, caminhando no sentido de uma análise *plurifilosófica* da ciência. Coloca-se no ponto intermediário entre racionalismo e empirismo, entre razão e experiência. Para nosso autor, a ciência aprende com ambos, e é no diálogo entre a razão e a técnica que se constrói o objeto científico. O fenômeno da ciência mais avançada cede lugar a uma *fenomenotécnica*, em que o próprio fenômeno é acompanhado de uma técnica de realização. Ele só tem sentido no contexto dos aparelhos de medida desenhados para sua "observação" (= geração). Assim é com uma câmara de bolhas, por exemplo, destinada a observar rastros de partículas elementares, ou com um espectrômetro de massa. O aparelho é um momento de realização teórica e matemática ou – como diz Bachelard (1981, p. 144) – um "teorema reificado".

Embora Bachelard rompa com a dicotomia empirismo-racionalismo, atribui um peso maior à razão. Para ele, o *vetor epistemológico* vai do racional ao real, uma vez que, na ciência moderna, a racionalização da experiência e o pensamento abstrato tem um valor muito forte. Cunha expressões como *racionalismo aplicado* e *materialismo técnico* para caracterizar o novo espírito científico.

Ao tomar um determinado conceito em particular, a análise plurifilosófica de Bachelard aponta-nos que sua evolução histórica pode ser compreendida como um processo que atravessa fases, no sentido de uma racionalização e abstração crescentes. Essas fases vão de um realismo ingênuo (ou animismo) ao surracionalismo – termo criado por nosso autor –, passando pelo empirismo e pelo racionalismo tradicional. Usando a massa como exemplo, Bachelard analisa de que modo tal conceito pode ser percebido de várias formas, desde uma *apreciação quantitativa grosseira* (massa associada às *coisas grandes*), própria do realismo ingênuo, até as noções mais abstratas, características da mecânica ondulatória e da relatividade. No meio do caminho, encontram-se a noção empírica de massa (associada à balança e à sua medição pretensamente *precisa*) e a racionalista (a massa da mecânica newtoniana).

Dessa forma, cada uma das *escolas filosóficas* (realismo ingênuo, empirismo, racionalismo tradicional e surracionalismo) esclareceria apenas uma face do conceito, cuja evolução histórico-filosófica seria um movimento no sentido de graus mais elevados de abstração e generalização, num processo marcado por rupturas e pela superação de obstáculos epis-

temológicos. É pertinente, pois, falarmos em *progresso filosófico/epistemológico* dos conceitos, segundo Bachelard.

> Pode-se discutir muito acerca do progresso moral, do progresso social, do progresso poético, do progresso da felicidade; existe no entanto um progresso que é indiscutível: o progresso científico, considerado como hierarquia de conhecimentos, no seu aspecto especificamente intelectual. [...] Insistamos um pouco nesse conceito de *progresso filosófico*. É um conceito que tem pouco significado em filosofia pura. Não caberia na cabeça de nenhum filósofo dizer que Leibnitz estava em avanço relativamente a Descartes, Kant em avanço relativamente a Platão. Mas o sentido da evolução filosófica dos conceitos científicos é tão claro que se torna necessário concluir que o conhecimento científico ordena a própria filosofia. O pensamento científico fornece pois um princípio para a classificação das filosofias e para o estudo do progresso da razão. (BACHELARD, 1991, p. 21, grifos do autor).

A ideia de perfil, propriamente dita, surge a partir do momento em que Bachelard nos diz que a superação dos obstáculos nunca é definitiva, ou seja, permanecem no sujeito as concepções já superadas, manifestando-se nos contextos apropriados. Assim, as noções realistas e empiristas de massa, por exemplo, não desaparecem naqueles que compreenderam o significado racionalista dessa noção.

Bachelard afirma que cada escola filosófica teria certo *peso relativo*, certa *intensidade de presença*. Um peso maior ou menor dependeria da *efetiva utilização contextual* de cada uma dessas noções. A longa experiência de Bachelard em pesar cartas, como funcionário dos correios, fazia com que a noção empírica de massa fosse marcante para ele, por exemplo. Mesmo se pensarmos num professor de Física do Ensino Médio, é provável que a noção racionalista de massa seja mais presente do que a surracionalista, em função de seu trabalho diário.

Vejamos, na Figura 3, como Bachelard desenha seu próprio perfil para a massa:

Figura 3 – Perfil epistemológico da noção de massa em Bachelard

Fonte: Bachelard (1991, p. 41)

A altura das colunas é fruto de uma avaliação subjetiva, a partir da percepção dos contextos de uso de cada uma das noções particulares de massa. Bachelard afirma que esse *perfil mental* seria válido para cada conceito e para cada indivíduo em particular, em cada estágio de sua cultura. Portanto, indivíduos diferentes podem ter perfis diferentes para um mesmo conceito, e o mesmo indivíduo teria perfis diferentes para conceitos diferentes.

A ideia de Bachelard do perfil epistemológico tem uma grande aplicação no ensino e na pesquisa em Ensino de Ciências, a nosso ver. O chamado *movimento de concepções alternativas* evidenciou a existência de concepções variadas sobre diversos conceitos científicos, como vimos. Trabalhos posteriores deixaram claro que essas concepções não apenas são resistentes à mudança, mas também continuam sendo utilizadas pelos sujeitos em contextos variados. Uma *mudança conceitual strictu sensu* – no sentido de um abandono de ideias prévias em favor das científicas – deixou de ser buscada. Um estudante de Física do Ensino Médio pode fazer uso do conceito científico de energia, por exemplo, ao responder uma prova dessa disciplina, mas, num contexto do dia a dia (ao observar um rótulo de alimento num supermercado) utilizar-se de uma visão diferente para essa noção. O uso contextual de concepções diversas para um mesmo conceito, portanto, poderia ser interpretado à luz da noção bachelardiana de perfil epistemológico.

Há nessa afirmação, é claro, uma passagem *sutil* da epistemologia para a sala de aula, o que não deve ser ignorado. O que vale para a análise da ciência valerá para interpretarmos a sala de aula? É a pesquisa que pode responder sobre a viabilidade de aplicarmos a ideia de perfil epistemológico a questões do ensino-aprendizagem das ciências naturais, mas... o que a pesquisa tem mostrado?

Perfil conceitual ou perfil epistemológico?

A utilização da noção bachelardiana de perfil epistemológico na pesquisa em Ensino de Ciências já tem uma história. De modo mais efetivo, encontramos em Mortimer (1995, 1996, 1998 e 2000) a tentativa de aplicar a ideia de *perfil* ao ensino. Uma vez que esse autor procura diferenciar o perfil epistemológico daquilo que seria um *novo* conceito – o de *perfil conceitual* –, acreditamos ser relevante analisarmos as implicações que nos trazem uma escolha ou outra.

Em sua proposta de utilização do perfil para os problemas do ensino, Mortimer justifica a adoção de uma nova terminologia afirmando ser necessário *introduzir* algumas características no perfil que estariam *ausentes* da visão filosófica de Bachelard. São explicitados dois desses elementos que poderiam justificar a distinção (em Mortimer, 1995, p. 273;

1996, p. 32-33; 1998, p. 68-69; e 2000, p. 78-81). Em primeiro lugar, a necessidade de diferenciar características ontológicas e epistemológicas de cada região do perfil:

> Apesar de lidar com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser não só epistemológica como também ontologicamente diferente das outras, já que essas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil. (MORTIMER, 2000, p. 78-79).

É relevante atentarmos para esse argumento, uma vez que trabalhos posteriores que adotam a noção de perfil conceitual, na área de Ensino de Ciências, costumam reproduzi-lo ou ratificá-lo. A nosso ver, esse argumento não traz uma justificativa forte para a distinção. Como já afirmamos em outra oportunidade:

> Consideramos que o primeiro dos elementos citados *já se encontra presente na proposta bachelardiana de perfil epistemológico*, não havendo justificativa para a adoção de uma nova terminologia. Embora Bachelard o tenha denominado de perfil *epistemológico*, a exemplificação que faz dessa noção com o conceito de massa, na *Filosofia do Não*, não deixa dúvidas quanto às diferenças ontológicas entre as várias regiões do perfil. A massa, do ponto de vista do empirismo, é, sem dúvida, ontologicamente diferente da noção racionalista de massa. Parece-nos que Bachelard poderia muito bem ter "batizado" o perfil de *perfil onto-epistemológico*, sem qualquer modificação de sua proposta original. Talvez o uso apenas de 'epistemológico' deva-se à ênfase que nosso autor procura dar à idéia de progresso nesse terreno. (MARTINS, 2007, p. 60-61, grifos do autor).

Se considerarmos a análise bachelardiana para a massa, ficam evidentes as diferenças de natureza ontológica. No realismo ingênuo, a massa (associada às *coisas grandes*) tem forte identificação com a própria extensão, o que não faz sentido do ponto de vista empirista ou racionalista clássico, por exemplo. Ela é a matéria *em si*, e não uma *propriedade* da matéria. Ao analisar a noção racionalista de massa, o próprio Bachelard deixa claro diferenças (a nosso ver, que envolvem aspectos ontológicos) em relação a noções anteriores: "Antes de Newton, estudava-se a massa no seu *ser*, como quantidade de matéria. Depois de Newton ela é estudada num *devir* dos fenômenos, como coeficiente de devir". (BACHELARD, 1991, p. 27, grifos do autor).

Um segundo argumento para justificar a distinção explicita características do perfil conceitual:

> Outra característica importante da noção de perfil conceitual é que seus níveis 'pré-científicos' não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos. Como essas características individuais estão fortemente influenciadas pela cultura, podemos tentar definir o perfil conceitual como *um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma*

> *cultura*. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciada pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que, para cada conceito em particular, tem-se um perfil diferente. *Mas as categorias que caracterizam o perfil são, ao mesmo tempo, independentes de contexto, uma vez que, dentro de uma mesma cultura, tem-se as mesmas categorias pelas quais são determinadas as diferentes zonas do perfil.*
>
> [...]
>
> Nada proíbe, no entanto, que se encontrem diferentes zonas pré-científicas no perfil de um mesmo conceito em diferentes culturas ou mesmo em diferentes classes sociais dentro de uma mesma cultura, o que seria apenas uma evidência da raiz cultural desse conceito em particular. No entanto, acreditamos ser possível encontrar, para muitos conceitos científicos, as mesmas divisões do perfil conceitual em todo o mundo ocidental. (MORTIMER, 2000, p. 80; 81, grifo nosso).

Os trechos assinalados por nós na citação aproximam a noção de perfil conceitual das ideias de Bachelard. Já a perspectiva de que os níveis pré-científicos do perfil conceitual não sejam determinados por escolas filosóficas de pensamento, e a ideia de que essas zonas pré-científicas possam variar dentro de uma mesma cultura referem-se, de fato, ao ponto central de distinção entre as noções de perfil conceitual e perfil epistemológico.

Ao que nos parece, a noção de perfil conceitual desprende-se das escolas filosóficas propostas por Bachelard em *A Filosofia do Não*, na medida em que seus níveis pré-científicos não se vinculam à sequência realismo ingênuo, empirismo etc. Há uma dependência cultural fortemente assinalada para a caracterização das zonas do perfil, admitindo-se, inclusive, que essas zonas possam variar entre classes sociais distintas. Por outro lado, admite-se que as categorias independam do contexto e sejam as mesmas dentro de uma mesma cultura.

Trabalhos mais recentes que se utilizam da noção de perfil conceitual acentuaram esses aspectos. Cada vez mais o referencial bachelardiano foi sendo deixado de lado, à medida que a preocupação direcionou-se para questões relativas à linguagem e à análise dos discursos dos alunos em sala de aula. Bakhtin e Vygotsky – embora já presentes na proposta original – ganharam destaque (ver, p. ex., Aguiar Jr.; Mortimer, 2005; Amaral; Mortimer, 2006; Sepúlveda et al., 2007; Nicolli; Mortimer, 2009).

Em um trabalho representativo desse período, Amaral e Mortimer (2006) apresentam a noção de perfil conceitual ao longo de cerca de cinco páginas, sem referência a Bachelard.[9] A opção por outros referenciais fica mais explícita:

> A proposição dessas formas coletivas de pensar é conseqüência de trabalharmos com a hipótese vygotskyana de que o pensamento individual tem sua origem nas interações sociais nas quais o indivíduo

[9] Nesse trabalho Bachelard aparece nas referências, mas não no texto.

> participa, sendo formado pela internalização da cultura e das ferramentas culturais (Vygotsky, 1934/1987).
>
> Dessa forma, a determinação das categorias que constituem as zonas de um perfil conceitual é uma tentativa de caracterizar a heterogeneidade do pensamento verbal (Tulviste, 1991; Wertsch, 1991) no contexto dos processos de ensino-aprendizagem de ciências (Mortimer, 2001).
>
> [...]
>
> Mortimer (2001) faz uma análise dos meios mediacionais que vão constituir as diferentes zonas de um perfil conceitual utilizado na sala de aula, em termos das noções de linguagens sociais e gêneros do discurso propostos por Bakhtin (1953/2000).
> (AMARAL; MORTIMER, 2006, p. 241; 242).

Um estudante que fizesse, hoje em dia, uma pesquisa bibliográfica na literatura especializada apenas dos últimos cinco anos (o que é considerado razoável em primeira aproximação, em muitos casos) talvez tivesse dificuldade em identificar que a ideia de perfil conceitual tem suas raízes em Bachelard. Isso, por suposto, não se constitui em um problema, evidenciando, apenas, uma depuração do enfoque teórico-metodológico da pesquisa sobre perfil conceitual.[10]

Embora minoritária em termos de produção acadêmica, a noção de perfil epistemológico também tem orientado trabalhos de pesquisa em Ensino de Ciências de autores como Pinto e Zanetic (1999); Silveira e Zanetic (2003); Martins (2004); Martins e Pacca (2005); Souza e Zanetic (2005); Santos (2009); Souza Filho (2009); Colombo Jr. (2010).

Adotar essa denominação significa concordar com a ideia de *progresso epistemológico*, processo esse estampado pela sequência de escolas filosóficas propostas por Bachelard. Com relação aos compromissos de natureza ontológica e epistemológica dos sujeitos, esses se vinculariam às escolas filosóficas de pensamento que representam, inclusive, uma *generalização* de tais compromissos (ou, dito de outra forma, um sistema supraindividual de formas de pensamento). Na realidade, essa seria uma das características básicas da noção de perfil epistemológico.

[10] Esse movimento, com o consequente afastamento das ideias de Bachelard, torna-se evidente quando analisamos a literatura especializada nesse terreno. Tomemos, à guisa de exemplo – e de modo não exaustivo – diversos trabalhos apresentados nos Encontros Nacionais de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPECs) de 2005, 2007 e 2009, na perspectiva do perfil conceitual: Amaral; Mortimer (2005), Coutinho et al. (2005a e 2005b), Cunha (2005), Karam et al. (2005), Radé; Santos (2005), Strack et al. (2005), Viggiano; Mattos (2005 e 2007), Dalri; Mattos (2007), Druzian et al. (2007), Rodrigues; Mattos (2007), Sepúlveda et al. (2007), Serrano et al. (2007), Silva et al. (2007), Soares et al. (2007), Nicolli; Mortimer (2009), Sepúlveda (2009). Cerca de metade desses trabalhos não relaciona a noção de perfil às ideias de Bachelard. A outra metade o faz brevemente, reproduzindo, em geral, os argumentos de Mortimer – já citados – para a adoção da terminologia *perfil conceitual* (em Dalri e Mattos (2007), busca-se acrescentar uma dimensão axiológica à noção de perfil conceitual). Nos trabalhos mais recentes, Bachelard desaparece. Algo semelhante encontramos em trabalhos publicados em alguns dos periódicos especializados da área. Novamente de modo não exaustivo, citemos alguns: Sepúlveda e El-Hani (2004); Aguiar Jr. e Mortimer (2005), Coutinho et al. (2007); Docio et al. (2009); Bastos e Mattos (2009); e Ayala Filho (2010). Bachelard está ausente em metade deles e, na outra metade, a adoção de *perfil conceitual* segue os mesmos argumentos. Entre os mais recentes, apenas Ayala Filho (2010) retoma essa discussão.

Nada proíbe, no entanto, que pensemos em *subdividir* certas regiões do perfil, admitindo uma espécie de *estrutura fina* para as zonas mais elementares. Talvez isso nem seja necessário, mas, mesmo assim, não estaria em desacordo com a visão de Bachelard, que se refere – em *A Filosofia do Não* – à primeira região do perfil tanto com a denominação de *animismo* como de *realismo ingênuo*. Entendemos que, para ele, essa região é multifacetada justamente devido ao polimorfismo dos obstáculos (MARTINS, 2007). Subdivisões dessa natureza, entretanto, conservariam a perspectiva de que se trata, no fundo, de diferentes momentos de um pensamento realista que, para Bachelard (1996, p. 163), "é a única filosofia inata". Esse seria um caminho a ser perseguido dentro dessa perspectiva e implicaria, certamente, em considerações mais aprofundadas de questões contextuais/culturais e de linguagem.

Diante do que foi colocado – e à guisa de uma síntese – poderíamos nos perguntar sobre algumas das *implicações* da adoção de uma ou de outra terminologia. Ambas são válidas, mas apontam para perspectivas teórico-metodológicas diferenciadas do ponto de vista da pesquisa em ensino. Também seria lícito afirmar que, no terreno da epistemologia em geral, bem como no da psicologia da aprendizagem, as noções de perfil epistemológico e de perfil conceitual têm compromissos que merecem ser distinguidos. Quais seriam esses compromissos? Que vantagens cada uma dessas abordagens teria?

O perfil conceitual – até o nível em que podemos perceber – *descola-se* da hierarquia de doutrinas filosóficas bachelardianas, trazendo ao pesquisador em ensino a *liberdade* de estabelecer as categorias de análise a serem usadas na caracterização das diferentes zonas do perfil. Tais zonas não serão necessariamente as mesmas para os diversos conceitos,[11] e muito provavelmente serão diferentes para indivíduos de culturas diferentes. Embora a determinação dessas categorias e zonas, para cada conceito, seja cotejada com a literatura relativa às concepções alternativas e com a História da Ciência, ela tem forte relação com o discurso dos sujeitos e com o meio sociocultural, surgindo a partir da análise dos dados de pesquisa, numa perspectiva mais empirista.

Driver e Easley (1978) apontaram, há pouco mais de trinta anos, que seria promissor estudar as concepções dos alunos desvinculando-as da teoria de Piaget, valorizando mais o *conteúdo* do pensamento do que a *forma*. Analisando retrospectivamente, isso, de fato, levou a um signifi-

[11] Para tomarmos dois exemplos do terreno da Biologia: Coutinho et al. (2005; 2007) constroem três zonas para um perfil conceitual de vida: internalismo, externalismo e relacional. Já Sepúlveda et al. (2007) constroem quatro zonas para um perfil conceitual de adaptação evolutiva: ausência de explicação etiológica, visão teleológica, internalismo-transformacional e externalismo-variacional. No terreno da Física: Rodrigues e Mattos (2007), num estudo sobre luz e visão, determinam quatro zonas do perfil: luz como um estado de *iluminação* do meio, luz como necessária para a visão (mas sem alcançar o olho), luz e visão devem encontrar-se no objeto para que este seja visto (extramissão) e luz proveniente da fonte primária é difundida pelo objeto e incide sobre o olho (intramissão). Já Ayala Filho (2010), acerca do conceito de referencial, estabelece três zonas: a região de senso comum, a região newtoniana e a região relativística (diga-se de passagem, em aparente sintonia com uma análise a partir do referencial bachelardiano de perfil epistemológico...).

cativo avanço no conhecimento da área. De modo semelhante, embora ampliado, a noção de perfil conceitual permite explorar as concepções dos alunos na dependência de contextos que mobilizam determinados compromissos ontológicos e epistemológicos, prolongando e aprofundando, em certa medida, o movimento de concepções alternativas.

Aquilo que se ganha é o mesmo que se perde. A vantagem auferida pela liberdade de se desprender da hierarquia bachelardiana torna-se, entretanto, uma desvantagem na medida em que se deixa de ter uma *estrutura* subjacente ao perfil, que seja sempre válida e *generalizável*. Ao desvincular-se da hierarquia de doutrinas filosóficas bachelardianas e aceitar tipologias muito diferentes para a caracterização das zonas de perfis de conceitos diversos, corre-se o risco de ficarmos limitados a uma miríade de concepções sem articulação entre si. Também não há comprometimento com a noção de *progresso epistemológico*.

O perfil epistemológico, por seu turno, tem como vantagem a possibilidade de interpretação do conjunto (contextual) de concepções, para um dado conceito, a partir de uma *estrutura* comum. Ao conservar a hierarquia de doutrinas filosóficas bachelardianas conserva, consequentemente, o sentido de *progresso epistemológico*. A novidade do perfil – epistemológico – é buscar a *forma* subjacente ao *conteúdo*, os compromissos ontológicos e epistemológicos dos sujeitos que, generalizados, possam levar a uma compreensão de certas estruturas de pensamento que se repetem para diversos conceitos, contextos e – por que não? – culturas.[12]

Desse ponto de vista, há um *a priori* teórico mais forte com a adoção da noção de perfil epistemológico na pesquisa em ensino. Uma estrutura pré-determinada orienta mais rigidamente uma tomada de dados. Nesse sentido, trata-se de uma perspectiva mais racionalista. Novamente aqui, o que é uma vantagem pode tornar-se uma desvantagem. É preciso estar atento para o que dizem os sujeitos e a sala de aula, para que dados não sejam precocemente acomodados a um modelo pré-estabelecido. Por outro lado, a investigação poderia avançar no sentido de aprofundar o significado de cada escola filosófica para cada conceito,[13] além de avaliar a possibilidade de subdivisões ou *estruturas finas* que, mantendo o significado de uma dada escola filosófica, ajudassem a compreender e interpretar os dados. Seria preciso continuar de onde Bachelard parou.

[12] Nesse ponto, valeria a pena esclarecer que Bachelard, ao propor a noção de perfil epistemológico, estava preocupado, certamente, com o desenvolvimento histórico-filosófico da ciência ocidental. Da mesma forma, acreditamos que as escolas filosóficas bachelardianas servem a uma interpretação da construção conceitual de conceitos científicos, em primeira aproximação. A questão de como isso se daria em certas culturas tradicionais muito distanciadas da nossa (e que, muitas vezes, sequer compartilham conosco determinados conceitos) foge ao escopo desse trabalho.

[13] Seria importante sinalizar, no entanto, que não acreditamos que a ideia de perfil epistemológico tenha um potencial significado quando aplicada a todo e qualquer conceito. Conceitos mais centrais da ciência parecem mais frutíferos para tal tarefa (p. ex. força, energia, massa, espaço, tempo, substância, vida, entre outros). Também aqui encontramos apoio em Bachelard quando afirma que: "Deste modo, pensamos que só depois de se ter recolhido o álbum dos perfis epistemológicos de todas as *noções de base*, é que se pode estudar verdadeiramente a eficácia relativa das diversas filosofias" (Bachelard, 1991, p. 45, grifo nosso).

Fechamento

> Não existe, na história do saber, uma relação lógico-formal entre as concepções e sua comprovação: as provas seguem as concepções assim como, de maneira inversa, as concepções seguem as provas. As concepções não são sistemas lógicos – por mais que queiram sê-lo – mas unidades estilísticas, que se desenvolvem e regridem como tais ou transitam para outras unidades com suas provas. Cada época tem concepções dominantes, restos das concepções passadas e predisposições de concepções futuras, em analogia com todas as formas sociais.
>
> *Ludwik Fleck*

Procuramos evidenciar a fertilidade da epistemologia de Gaston Bachelard para a pesquisa em Ensino de Ciências na atualidade, notadamente no que se refere às noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico. Bachelard contribui significativamente para a interpretação de resultados da pesquisa em ensino, tais como a existência e a natureza das concepções alternativas, sua resistência à mudança, o uso contextual das concepções, entre outros aspectos. A principal razão disso é que, radicalmente, a epistemologia de Bachelard tem implicações pedagógicas marcantes.

Não podemos esquecer, no entanto, que Bachelard elaborou suas principais teses nas décadas de trinta e quarenta do século XX, e que vivemos outro momento histórico. A – necessária – crítica à ciência, desencadeada principalmente no período pós-guerra, e reforçada (talvez de modo inadvertido) por parte de filósofos e sociólogos da ciência (ou por interpretações apressadas dos mesmos), fez com que, entre outras coisas, a palavra progresso se tornasse um *palavrão*. Ainda que Bachelard fale de progresso epistemológico – e não ontológico – e sua epistemologia seja caracteristicamente descontinuísta, há uma rejeição generalizada a qualquer noção de progresso (ao menos no meio acadêmico). A ciência saiu de seu pedestal e um relativismo epistemológico é – aparentemente – dominante.

Também é lícito dizer que vivemos um momento, em nossa cultura, marcado pelo justo reconhecimento e valorização das diferenças, pelo respeito à diversidade. Do ponto de vista social, a perspectiva da multiculturalidade e da valorização das diferentes culturas, dos diferentes modos de ver e agir, é algo extremamente presente e positivo. A pesquisa em diversas áreas incorporou esses aspectos, e não foi diferente no Ensino das Ciências. Uma série de trabalhos segue essa tendência (p. ex.: Hodson (1993); Cobern (1996); Cobern e Loving (2001)),[14] representada, também, por linhas de pesquisa como etnomatemática, etnoastronomia etc.

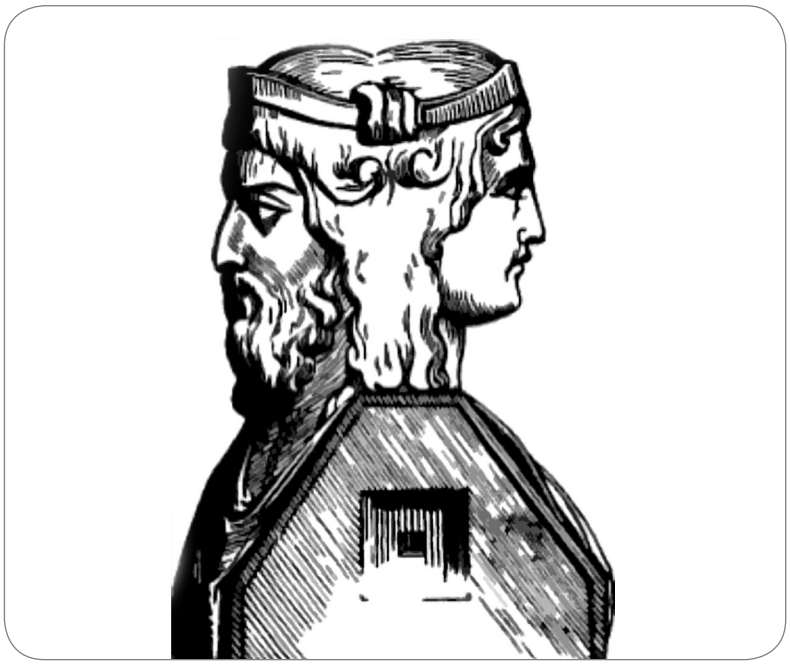
[14] Podem ser consultados, também, os números especiais da *Science Education* (Volumes 78, 83 e 85) e da *Science & Education* (Volume 18).

O que dissemos, quem sabe, possa nos ajudar a entender *por que* a epistemologia de Bachelard não tenha tido – até hoje – tanto impacto em nossa área de pesquisa quanto poderia ter, bem como *por que* a noção de perfil conceitual tem mais adeptos (para usar um termo kuhniano) do que a de perfil epistemológico, cujo *programa de pesquisa* talvez esteja em degeneração (para usar um termo lakatosiano). Possivelmente, certas ideias bachelardianas (como progresso epistemológico) pareçam *old fashion* ou, simplesmente, pertençam a outro *estilo de pensamento* (para usar um termo fleckiano).

Fazemos parte das ciências humanas aplicadas (DELIZOICOV, 2004) e, num contexto cultural que enfatiza a diversidade, as diferenças, a multiculturalidade e o relativismo, pode ser impróprio pensar em algo que seja *comum* aos indivíduos, que nos una em nossa condição humana. Mas isso também poderia ser libertador.

De nossa parte, acreditamos na natureza complementar das noções de perfil conceitual e perfil epistemológico no âmbito da pesquisa em Ensino de Ciências. A pluralidade teórico-metodológica tem sido uma característica marcante em nossa área. Da mesma forma que o pensamento científico, segundo Bachelard, é sempre uma alternativa renovada de empirismo e racionalismo, num movimento dialético que supera essa dicotomia, os dois *perfis* contribuem de modo diverso para iluminar um mesmo objeto. Quem sabe sejam duas faces da mesma moeda que carrega e demanda, tal qual Janus (Figura 4), um olhar para o passado e também para o futuro.

Figura 4 – Representação do Deus romano Janus



Referências

ADÚRIZ-BRAVO, A. *¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias?* Uma questión actual de la investigación didáctica. 2006. Disponível em: <http://www.unesco.cl/medios/biblioteca/documentos/>. Acesso em: 21 mar. 2008.

AGUIAR JR., O. G.; MORTIMER, E. F. Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade discursiva em uma aula de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), 179-207, 2005.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Proposta metodológica para análise da dinâmica discursiva em sala de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas...* Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma metodologia para análise da dinâmica entre zonas de um perfil conceitual no discurso da sala de aula. In: SANTOS, F. M.T.; GRECA, I. M. (Orgs.). *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias*. Ijuí: Editora Unijuí, 2006.

AYALA FILHO, A. L. A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 1, p. 155-179, 2010.

BACHELARD, G. *A Epistemologia*. Trad. Fátima L. Godinho e Mário C. Oliveira. Lisboa: Edições 70, 1981.

BACHELARD, G. *A Filosofia do Não* – Filosofia do Novo Espírito Científico. 5. ed. Trad. Joaquim José Moura Ramos. Lisboa: Presença, 1991.

BACHELARD, G. *A Formação do Espírito Científico*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACON, F. *Novum organum*. São Paulo: Nova Cultural, 1997. (Coleção Os Pensadores).

BARBOSA, E.; BULCÃO, M. *Bachelard*: pedagogia da razão, pedagogia da imaginação. Petrópolis: Vozes, 2004.

BASTOS, P. W.; MATTOS, C. R. Um exemplo da dinâmica do perfil conceitual como complexificação do conhecimento cotidiano. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, n. 3, p. 1054-1078, 2009.

BULCÃO, M. *O racionalismo da ciência contemporânea* – uma análise da epistemologia de Gaston Bachelard. Londrina: Ed. da UEL, 1999.

COBERN, W. W. Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education. *Science Education*, v. 80, n. 5, p. 579-610, 1996.

COBERN, W. W.; LOVING, C. C. Defining "science" in a multicultural world: implications for science education. *Science Education*, v. 85, n. 1, p. 50-67. 2001.

COLOMBO JR., P. D. *A percepção da gravidade em um espaço fisicamente modificado: uma análise à luz de Gaston Bachelard*. 2010. Dissertação. (Mestrado em Ensino de Ciências – Ensino de Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

COUTINHO, F. A.; EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Construção de um perfil conceitual de vida. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005a, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

COUTINHO, F. A.; EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Utilizando situações-problema para acessar a tomada de consciência do perfil conceitual: um estudo com a ontodefinição de vida. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005b, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

COUTINHO, F. A.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Construção de um perfil para o conceito biológico de vida. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12 n. 1, p. 115-137, 2007.

CUNHA, M. B. M. Perfil Conceitual: analisando resultados obtidos para concepção de matéria e seus estados físicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

DALRI, J; MATTOS, C. R. Relações entre motivação, valor e perfil conceitual: um exemplo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: Pietrocola, M. (Org.) *Ensino de física:* conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

DELIZOICOV, D. Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 145-175, 2004.

DOCIO, L.; RAZERA, J. C. C.; PINHEIRO, U. S. Representações sociais dos moradores da baía de Camamu sobre o filo Porifera. *Ciência & Educação*, v. 15, n. 3, p. 613-629, 2009.

Driver, R. H.; Easley, J. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, v. 5, p. 61-84, 1978.

DRIVER, R. H.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

DRUZIAN, A. C.; RADÉ, T. S.; SANTOS, R. P. Uma proposta de perfil conceitual para os conceitos de luz e visão. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas...* Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; Praia, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002.

GEELAN, D. R. Epistemological Anarchy and the Many Forms of Constructivism. *Science & Education*, v. 6, n. 1-2, p. 15-28, 1997.

GOOD, R. Rediscovering Gaston Bachelard's Work. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 8, p. 819-820, 1993.

HODSON, D. In search of a rationale for multicultural science education. *Science Education*, v. 77, n. 6, p. 685-711, 1993.

KARAM, R. A. S.; COIMBRA, D.; CRUZ, S. M. S. C. S. Ampliando o conceito de tempo através da inserção da teoria da relatividade restrita no ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas...* Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

LABURU, C. E.; CARVALHO, M. *Educação científica:* controvérsias construtivistas e pluralismo metodológico. Londrina: Eduel, 2005.

LEDERMAN, N.G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 29, n. 4, p. 331-359, 2002.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present and future. In: ABELL, S.K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). *Handbook of research on science education*. (p. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.

LOBO, S. F. O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2007.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de Las Ciencias*, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

MARÍN MARTÍNEZ, N.; SOLANO MARTÍNEZ, I.; JIMÉNEZ GÓMEZ, E. Tirando el hilo de la madeja constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 3, p. 479-492, 1999.

MARTINS, A. F. P. *Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo:* uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. 2004. Tese. (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, A. F. P. *Tempo físico*: a construção de um conceito. Natal: EdUFRN, 2007.

MARTINS, A. F. P. Sobre rupturas (e continuidades...). In: MARTINS, A. F. P. (Org.) *Física ainda é cultura?* São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2009.

MARTINS, A. F. P.; PACCA, J. L. A. O conceito de tempo entre estudantes de ensino fundamental e médio: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, 2005.

MATTHEWS, M. R. Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. Trad. para o espanhol: Óscar Barberá e Luis Puig. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 1, p. 79-88, 1994.

McCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. The Nature of Science in Science Education: an introduction. *Science & Education,* v. 7, p. 511-532, 1998.

MORENO ARMELLA, L. E.; WALDEGG, G. La epistemología constructivista y la didáctica de las ciencias: ¿coincidencia o complementariedad? *Enseñanza de las Ciencias*, v. 16, n. 3, p. 421-429, 1998.

MORTIMER, E. F. Conceptual Change or Conceptual Profile Change?. *Science & Education*, v. 4, n. 3, p. 267-285, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

MORTIMER, E. F. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 1, p. 67-82, 1998.

MORTIMER, E. F. *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2000.

NICOLLI, A. A.; MORTIMER, E. F. Construção de um perfil para o conceito de morte. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC.

OGBORN, J. Constructivist Metaphors of Learning Science. *Science & Education*, v. 6, n. 1-2, p. 121-133, 1997.

OLIVEIRA, R. J. *A escola e o ensino de ciências*. São Leopoldo: Unisinos, 2000.

OSBORNE, J. Beyond Constructivism. *Science Education*, v. 80, n. 1, p. 53-82, 1996.

PIAGET, J.; GARCIA, R. *Psicogénese e História das Ciências*. Trad. Maria Jesuíno. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1987 [original de 1983].

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

RADÉ, T. S.; SANTOS, R. P. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de força. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

RODRIGUES, A. M.; MATTOS, C. R. A relação entre contexto e perfil conceitual: um exemplo para a energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

SANTOS, M. E. *Para uma pedagogia da Mudança Conceptual*. 1989. Dissertação. (Mestrado em Educação). Universidade de Lisboa – Departamento de Educação/ Faculdade de Ciências, 1989.

SANTOS, M. E. *Mudança conceptual na sala de aula* – um desafio pedagógico. Lisboa: Livros Horizonte, 1998.

SANTOS, M. E. *A cidadania na "voz" dos manuais escolares*. Lisboa: Livros Horizonte, 2001.

SANTOS, Z. T. S. dos. *Ensino de entropia*: um enfoque histórico e epistemológico. 2009. Tese. (Doutorado em Educação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SEPÚLVEDA, C. Aplicação de um perfil conceitual para adaptação à análise de interações discursivas no ensino de evolução. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC.

SEPÚLVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 9, n. 2, p. 137-175, 2004.

SEPÚLVEDA, C.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Construção de um perfil para o conceito de adaptação evolutiva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

SERRANO, A. KONZEN, D. A. K.; MOREIRA, M. A. Do uso de representações simbólicas e seus atributos no aprendizado de Gases:

evolução conceitual por aprendizagem significativa, de um perfil conceitual ou de representações e seus invariantes? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

SILVA, K. M. E.; AMARAL, E. M. R.; OLIVEIRA, M. A. B. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de manguezal: primeiras caracterizações de zonas de perfil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

SILVEIRA, M. P.; ZANETIC, J. Uma análise epistemológica do conceito de substância desenvolvido em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do Ensino Fundamental. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4, 2003, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

SOARES, A. G.; Matos, S. A.; COUTINHO, F. A.; MORTIMER, E. F. Estudos preliminares sobre o perfil conceitual de espécie. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

SOUZA, P. H.; ZANETIC, J. O ensino do conceito de tempo: imaginação, imagens históricas e rupturas epistemológicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

SOUZA FILHO, M. P. O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do eletromagnetismo. 2009.Tese (Doutorado em Educação para Ciências). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

STAUB DE MELO, A. C.; Peduzzi, L. O. Q. Contribuições da epistemologia bachelardiana no estudo da história da óptica. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007.

STRACK, R; LOGUÉRCIO, R.; DEL PINO, J. C. Literatura científica e perfil conceitual químico dos alunos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

VIGGIANO, E; MATTOS, C. R. O ensinar na visão de licenciandos em física: o papel do aprendiz, abordagem comunicativa e contextos de ensino. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. *Atas*... Bauru: ABRAPEC. CD-ROM.

VIGGIANO, E; MATTOS, C. R. É possível definir contextos de uso de zonas de perfil conceitual com um questionário? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. *Atas*... Florianópolis: ABRAPEC. CD-ROM.

VILLANI, A. Conceptual Change in Science and Science Education. *Science Education*, v. 76, n. 2, p. 223-237, 1992.

ESTADO DE REPOUSO E ESTADO DE MOVIMENTO: UMA REVOLUÇÃO CONCEITUAL DE DESCARTES

CAPÍTULO 11

Roberto de Andrade Martins

Introdução

A primeira lei do movimento, de Newton, ou *lei da inércia* foi publicada pela primeira vez em 1687, sob a seguinte forma: "Todo corpo persevera em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma direção, a menos que compelido a mudar seu estado por uma força impressa" (NEWTON, 1687, p. 12).

Até hoje, é comum utilizarmos formulações muito parecidas, também introduzindo os conceitos de *estado de repouso* e *estado de movimento*. Estamos tão acostumados a utilizar essa nomenclatura, que não prestamos muita atenção a essas expressões, que são, no entanto, de grande importância para uma correta compreensão da primeira lei de Newton. Poucos sabem que esses conceitos foram introduzidos por René Descartes, e não por Newton.

Neste trabalho, vamos analisar, primeiramente, a relação histórica entre o pensamento de Newton e a filosofia de Descartes, mostrando a forte influência que o segundo exerceu sobre o primeiro. Depois, analisaremos o modo como Descartes formulou suas primeiras *leis da natureza* e a introdução do conceito de *estado de movimento*. Então, retornando a Newton, analisaremos as principais semelhanças e diferenças entre a concepção cartesiana e a newtoniana. Por fim, discutiremos como a compreensão histórica do conceito de *estado de movimento* e da abordagem de Descartes pode contribuir para o ensino da Mecânica.

Newton, Galileo e o ímpeto

Mesmo quem lê com atenção a obra de Newton poderá não encontrar qualquer indício de que ele foi fortemente influenciado por Descartes. Nos *Principia*, depois de apresentar as suas três leis do movimento e alguns corolários, Newton introduziu um comentário geral (*scholium*) em que atribuiu as duas primeiras leis a Galileo: "Pelas duas primeiras leis e pelos dois primeiros corolários, Galileo descobriu que a queda dos corpos está na razão dupla do tempo e que o movimento dos projéteis é realizado em uma parábola" (NEWTON, 1687, p. 20), no entanto, não foi a partir do estudo de Galileo que Newton chegou à lei da inércia; e não se pode dizer que o matemático italiano tivesse realmente chegado a essa lei, em suas obras.

A mecânica galileana não é igual à de Newton. Galileo manteve as categorias aristotélicas de movimento violento e natural, e a distinção filosófica entre movimentos retilíneos e circulares, afirmando que apenas os movimentos circulares são naturais, perpétuos e perfeitos (ver: Westfall, 1972, p. 187; Martins, 1998; Franklin, 1976a, p. 540-542).

Embora popularmente se costume afirmar que Galileo foi o primeiro a apresentar a lei da inércia, uma análise cuidadosa mostrou que, na maior parte dos casos em que ele parece utilizar essa lei, ele apenas concebia uma tendência dos corpos de continuarem um movimento *circular*, e não retilíneo (COHEN, 1964, p. 133; DUTTON, 1999, p. 54). Em outros casos, como ao descrever o movimento de projéteis, Galileo utilizou o conceito medieval de *ímpeto* (Westfall, 1972, p. 185; Franklin, 1976a, pp. 536, 538, 540). "O papel que o *impetus* desempenhou na dinâmica de Buridan é exatamente o mesmo que Galileo atribuiu ao seu *impeto* ou *momento*" (DUHEM, 1990, p. 194, grifo do autor). Em outros momentos, Galileo introduziu algo que costuma ser chamado atualmente de *inércia circular*.[1]

O conceito de ímpeto, que influenciou fortemente tanto Galileo quanto o próprio Newton, tem uma longa história, que não pode ser descrita aqui.[2] Muitos autores sugeriram diferentes versões da ideia de que um projétil continua a se mover por causa de algum poder interno.

Tais propostas surgiram na Antiguidade (com Hiparco?)[3] e foram reaparecendo até o final da Idade Média, tendo sido defendidas por Philoponus, Avicenna, Franciscus de Marchia e outros autores (FRANKLIN, 1976a, p. 531-535). Um dos mais importantes foi Jean Buridan (aprox. 1300-1358), que produziu uma visão original e muito bem argumentada de um poder interno de movimento, dando-lhe o nome de *ímpeto*. De acordo com Buridan e outros autores medievais, é necessário dar uma causa para a continuação do movimento de um projétil depois do seu lançamento, porque se não houvesse uma causa para que ele continuasse a se mover, ele pararia. Essa causa, o ímpeto, seria interna – um princípio de movimento que o corpo recebe da mão ou instrumento que o lançou.

No século XVI, circulavam na Itália várias versões do conceito de ímpeto, tais como as utilizadas por Giambattista Benedetti e por Giordano Bruno; elas são muito semelhantes à ideia utilizada por Galileo no século seguinte (KOYRÉ, 1966, p. 47-106). A ideia era bem conhecida na época de Newton, e certamente teve alguma influência sobre seu conceito de inércia; mas essa não foi a principal influência no surgimento da sua primeira lei do movimento.

[1] Muitos autores atribuíram esse conceito a Galileo (Koyré, 1965, p. 67-68; Koyré, 1966, 205-290; Dijksterhuis, 1986, p. 347-352; Franklin 1976b, p. 58-62, 84-87; Shea, 1972, p. 116-138; Shapere, 1974, p. 87-121; Feyerabend, 1993, cap. 7, p. 65-76, esp. 73-76). Alguns historiadores, como Stillman Drake, negaram essa interpretação, mas parece-me que ele estava equivocado.

[2] Foi Pierre Duhem, em seus *Études sur Léonard da Vinci* (Duhem, 1913), quem primeiro chamou a atenção para os estudos medievais sobre conceitos semelhantes ao do ímpeto, de Johann Philoponus (século VI d.C.) a Jean Buridan (século XIV), mostrando como essas ideias levaram gradualmente à dinâmica de Galileo e de outros autores dos séculos XVI e XVII (MENN, 1990, p. 216).

[3] Não há um acordo geral a respeito de quem apresentou pela primeira vez uma ideia semelhante à teoria do ímpeto de Buridan (FRANCO, 2003, p. 525). Diferentes autores alegam que a primeira proposta apareceu nas obras de Hiparco de Nicaea (século II a.C.), ou de Alexandre de Aphrodisias (século III d.C.), Themistius (século IV), Johann Philoponus ou Simplicius (século VI).

A influência de Descartes

Os historiadores da ciência identificaram o período da vida de Newton em que ele chegou à primeira formulação de sua lei da inércia. Isso ocorreu, provavelmente, em janeiro de 1665 (WHITESIDE, 1970, p. 10), quando tinha 22 anos de idade. Pode-se determinar essa época por meio de um caderno de anotações de Newton, que contém suas ideias sobre dinâmica escritas entre setembro de 1664 e início de 1665 (HERIVEL, 1965, p. 129; WHITESIDE, 1991, p. 12). Nessa época, ele ainda era estudante da universidade de Cambridge.

Nessa época, o ensino ainda seguia o currículo medieval do *trivium* e do *quadrivium* (WHITESIDE, 1970, p. 6), com estudos humanísticos básicos de lógica, gramática e retórica complementados por disciplinas de Aritmética, Geometria, Astronomia e Música. Sabe-se que Newton estudou idiomas clássicos (Latim e Grego e, talvez, Hebraico), alguns dos filósofos clássicos (especialmente Aristóteles) e alguns comentadores, como Johannes Magirus. Além daquilo que a universidade lhe proporcionava, ele estudou por conta própria Matemática avançada, Óptica, Astronomia e Filosofia, inteirando-se dos avanços mais recentes dessas áreas. De acordo com as anotações mantidas pelo próprio Newton, sabe-se que durante o ano de 1664 ele estudou obras de René Descartes, Robert Boyle, Joseph Glanvil, Walter Charleton, Thomas Hobbes e Henry More (WHITESIDE, 1970, p. 7).

Sob o ponto de vista do desenvolvimento de suas ideias a respeito de mecânica, a leitura que mais influenciou Newton nessa época foi a da obra *Philosophiae prncipia*, de Descartes. Estimulado por esse estudo, em janeiro de 1665, o jovem estudante preencheu mais de dez páginas do caderno de anotações que denominou *Waste book*[4] com seus pensamentos a respeito das leis do movimento, tomando como ponto de partida as *leis da natureza* cartesianas (WHITESIDE, 1970, p. 10; WHITESIDE, 1991, p. 13). As primeiras ideias, sob a forma de *axiomas e proposições*, ainda não apresentavam uma forma semelhante à que conhecemos, dividindo aquilo que chamamos de *lei da inércia* em duas partes:

- Axiomas, e proposições.

1) Uma vez que uma quantidade se move, ela nunca parará a menos que seja impedida por alguma causa externa.

2) Uma quantidade sempre se moverá na mesma linha reta (não mudando a determinação nem a rapidez de seu movimento) a menos que alguma causa externa a desvie. (HERIVEL, 1965, p. 141).

[4] Os escritos dinâmicos do *Waste* book de Newton foram publicados pela primeira vez por John Herivel (1965, p. 128-182).

Logo adiante, no mesmo caderno de anotações, Newton reformulou sua ideia, que apresentou como o *axioma 100*:

> Ax. 100. Toda coisa deve perseverar naturalmente naquele estado no qual está, a menos que seja interrompida por alguma causa externa, daí os axiomas 1º e 2º. Um corpo, uma vez movido, manterá sempre a mesma velocidade, quantidade e determinação de seu movimento. (WHITESIDE, 1991, p. 38; HERIVEl, 1965, p. 153).

Esse *Axioma 100* é a mais antiga versão que conhecemos daquilo que depois se tornou sua primeira lei do movimento. Assim, Newton fundiu em um só axioma as ideias que apareciam inicialmente sob a forma de duas proposições; e nesta segunda formulação, introduziu a ideia de que o corpo procura permanecer no mesmo *estado* em que se encontra – uma ideia que, como veremos, ele tirou de Descartes.

Antes de estudar a obra de Descartes, Newton já sabia que um corpo tende a manter seu movimento; mas ele tinha uma concepção semelhante ao conceito de ímpeto, pois supunha que era necessária uma *força interna* para manter um corpo em movimento uniforme (WESTFALL, 1983, p. 144, 146). E mesmo depois de adotar as ideias de Descartes, Newton continuou a pensar sobre uma força interna nos corpos, aparentemente sem perceber que isso era incompatível com a conceituação de Descartes, pois no mesmo *Waste book* ele escreveu:

> A força que o corpo tem para se preservar no seu estado será igual à força que o colocou naquele estado; não maior, pois não existe nada no efeito que não estava na causa, nem menor, porque a causa só perde sua força ao comunicá-la ao seu efeito, e não existe razão pela qual não deve estar no efeito o que foi perdido na causa. (WESTFALL, 1983, p. 146).

Em escritos posteriores, Newton continuou a pensar sobre a força interna que mantém um corpo em movimento: Força é o princípio causal do movimento e do repouso. E é ou uma externa que gera e destrói ou muda de outra maneira o movimento impresso sobre algum corpo; ou um princípio interno pelo qual o movimento ou repouso que existe é conservado em um corpo" (NEWTON, apud HALL; HALL, 1962, p. 148; WESTFALL, 1972, p. 187).[5]

Newton nunca abandonou totalmente essa ideia de uma força associada ao movimento. Ela aparece na versão madura de sua dinâmica com o nome de *vis insita*, ou *força inerente*, responsável pelo movimento inercial.[6] Mas seu estudo da obra de Descartes introduziu uma nova

[5] Esta citação é de um manuscrito de Newton, sem data, denominado "De gravitatione et aequipondio fluidorum" (reproduzido em Hall; Hall, 1962, p. 90-121). De acordo com Whiteside, ele foi escrito pouco depois de 1668 (WHITESIDE, 1970, p. 12).

[6] Exploramos detalhadamente este aspecto do pensamento de Newton em um trabalho que está em vias de publicação: "The law of inertia and vis insita: Newton and his sources".

interpretação, que foi depois considerada a essência da lei de inércia: a ideia de que não é necessária nenhuma causa para manter o movimento retilíneo, com velocidade constante, mas sim para alterar esse movimento.

Há vários outros indícios de que Newton se baseou em Descartes para formular a sua lei da inércia. Isaac Bernard Cohen analisou uma expressão curiosa, *quantum in se est* (tanto quanto lhe é possível) que é usada por Newton na sua primeira lei do movimento, e encontrou que ela havia sido utilizada anteriormente por Descartes em sua *primeira lei da natureza* (COHEN, 1964):

- *Descartes:* "A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular permanece no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível [*quantum in se est*], e que ele apenas muda ao encontrar outros corpos" (1644, p.54).
- *Newton*: "A força inerente da matéria é um poder de resistir, pelo qual cada corpo, tanto quanto lhe é possível [*quantum in se est*], continua em seu estado presente de repouso ou de movimento uniforme para a frente em uma direção reta".

Embora Descartes não fosse o único autor a utilizar a expressão *quantum in se est* nessa época,[7] é realmente plausível que Newton a tenha copiado dele, já que aparece na apresentação de ideias muito semelhantes a respeito da conservação do movimento (KOYRÉ, 1965, p. 70).

Pode-se considerar que a formulação da primeira lei do movimento de Newton foi fortemente influenciada por Descartes; mas ele nunca reconheceu essa dívida (ver: Whitrow, 1971, p. 226; Cohen, 1964, p. 136; Jaki, 2001, p. 394). De fato, Newton somente cita Descartes para criticá-lo. Talvez isso possa ser explicado por processos psicológicos de autoafirmação: Newton não queria ser considerado um seguidor de Descartes e sim um pensador original.

Há um único elogio de Descartes feito por Newton, em uma carta que escreveu a Robert Hooke no início de 1676, onde afirmou: "Aquilo que Des-Cartes [*sic*] fez foi um bom passo. Você adicionou muito, de vários modos, e especialmente tomando para consideração filosófica as cores de lâminas finas. Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes"[8] – carta de Newton para Hooke, 5 de fevereiro de 1676 (TURNBULL, 1959, p. 416). Provavelmente, Newton estava sendo irônico e não sincero. Por um lado, ele não tinha muito respeito pelo próprio Hooke; e na mesma época em que escreveu essa carta, enviou outras a Henry Oldenburgh (o editor das *Philosophical Transactions of the Royal Society*), sugerindo que muitas das ideias de Hooke tinham sido copiadas de Descartes ((TURNBULL, 1959, p. 405, 408).

[7] A expressão *quantum in se est* era bastante comum no século XVII, ao contrário do que Cohen afirmou em seu artigo. Um livro de frases latinas, da época de Newton, a atribuiu a Cícero e a Tito Lívio, sob a seguinte forma: "*Pro se quisque, quantum in se est*" – cada um por si, tanto quanto lhe é possível (ROBERTSON, 1681, p. 824).

[8] A famosa expressão *sobre ombros de gigantes* não foi criada por Newton: era utilizada amplamente desde a Idade Média (JAKI, 2001, p. 394) e apareceu pela primeira vez na Antiguidade, tendo sido utilizada por Lucano (FRANKLIN, 1976a, p. 543 e 545, nota 118).

As primeiras leis da natureza, segundo Descartes

René Descartes (1596-1650), como veremos agora mais detalhadamente, propôs um princípio muitos semelhante à primeira lei de Newton. Para evitar anacronismos, é conveniente não ficar falando sobre *a lei da inércia de Descartes* (pois ele não usou a palavra *inércia*),[9] bem como evitar falar sobre como Descartes chegou à *primeira lei de Newton*. Alan Gabbey sugeriu utilizar a expressão *princípio da conservação do movimento* para caracterizar a ideia de Descartes (GABBEY, 1971, p. 54-55) e vamos passar a utilizar essa expressão.

Descartes apresentou a primeira versão de seu princípio na obra *Le monde*, escrita entre 1629 e 1633, mas que só foi publicada postumamente (Dutton, 1999, p. 55; Arthur, 2007, p. 5; Gabbey, 1971, p. 52).

Eis o seu enunciado:

> A primeira [lei da natureza] é que cada parte da matéria, em particular, continua sempre a estar no mesmo estado, enquanto o encontro com outras não a obriga a mudá-lo. Quer dizer, se ela tiver certo tamanho, ela não se tornará jamais menor, a menos que outras a dividam; se ela é redonda ou quadrada, ela não mudará jamais essa forma, sem que as outras a obriguem; se ela está parada em algum lugar, ela não partirá jamais de lá, a menos que outras a empurrem de lá; e se ela começou uma vez a se mover, ela continuará sempre com a mesma força, até que as outras a parem ou retardem. (DESCARTES, 1664, p. 81-82).

Em 1644, Descartes publicou em latim sua obra *Principia philosophiae*, na qual a mesma ideia aparece de uma forma mais desenvolvida. Essa segunda versão é a mais relevante, pois foi ela que Newton leu.

> XXXVII. *Primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre.*
>
> Como Deus não está sujeito a mudar, e por agir ele sempre do mesmo modo, nós podemos atingir o conhecimento de certas regras, que eu chamo de leis da natureza, e que são as causas secundárias dos diversos movimentos que notamos em todos os corpos; e isso as torna aqui muito consideráveis. A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas. Assim vemos facilmente que quando uma parte dessa matéria é quadrada, ela permanece sempre quadrada, a menos que algo aconteça que mude sua forma; e que, se ela está em repouso, nós não acreditamos que ela começará a se mover, a não ser que seja impelida por outra causa. Nem existe qualquer razão mais forte pela qual, se ela se move, e se nada a impedir, ela não continue

[9] Descartes conhecia a palavra *inércia* no sentido comum que ela possuía: uma tendência dos corpos a pararem ou a permanecerem em repouso. Ele se referiu a essa ideia em uma carta, negando sua validade: "Eu não reconheço qualquer inércia ou preguiça natural nos corpos" – carta de Descartes para Mersenne, 1638 (*apud* JAMMER, 1997, p. 60).

> seu movimento espontaneamente. E daí devemos concluir que tudo o que se move, tanto quanto lhe é possível, move-se para sempre. (DESCARTES, 1644, p. 54).
>
> XXXIX. *Segunda lei da natureza: que todo movimento é reto em si mesmo; e aquilo que se move em um círculo sempre tenta se afastar do centro do círculo que descreve.*
>
> A segunda lei da natureza é: cada parte individual da matéria, considerada apenas em si mesma, nunca tende a continuar seu movimento seguindo linhas oblíquas [curvas], mas apenas em linhas retas [...]. A causa desta regra, como da anterior, depende da imutabilidade e simplicidade das operações pelas quais Deus conserva o movimento na matéria. (DESCARTES, 1644, p. 55-56).

Vemos que Descartes apresentou seu princípio de conservação do movimento em duas partes. A primeira lei afirma que o movimento se conserva, mas não se refere à sua direção. A segunda complementa a primeira, indicando que esse movimento tende a ser retilíneo.

No caso de Descartes, o seu ponto de partida para chegar ao princípio da conservação do movimento não foi o conceito de ímpeto, mas uma linha de pensamento completamente diferente. Não há nenhum motivo para supormos que existe um único caminho linear que leva de Aristóteles, passando pela teoria do ímpeto, até o princípio newtoniano de inércia. Pelo contrário, os historiadores têm percebido que a história é extremamente complexa, e que diferentes pensadores do século XVII defenderam leis da conservação do movimento diferentes e incompatíveis, e que essas diversas leis tiveram diferentes genealogias históricas (MENN, 1990, p. 217). As leis do movimento de Descartes são devidas à atividade conservadora de Deus, que dá aos corpos uma certa quantidade de movimento quando os cria, e preserva esse movimento como parte de sua atividade conservadora geral (DUTTON, 1999, p. 55-56). Assim, Descartes não pensava que o movimento é preservado por causa de alguma coisa inerente ao corpo que se move, mas apenas pela imutabilidade divina. Eis a justificativa que Descartes apresentou para a conservação do movimento:

> XXXVI. *Deus é a causa primária do movimento; e ele sempre conserva uma mesma quantidade de movimento no universo.*
>
> Após haver examinado a natureza do movimento, devemos considerar sua causa, que é dupla: a primeira, que é mais universal e primária, é a causa geral de todo movimento que existe no mundo; e depois a outra particular, que faz com que cada parte individual da matéria o adquira, se ela não o tinha antes. Naquilo que se refere à geral, parece-me evidente que não há nenhuma outra além do próprio Deus, que criou no início a matéria com o movimento e o repouso, e que atualmente conserva no universo, por seu auxílio ordinário, tanto movimento e repouso quanto ele aí havia colocado ao criá-lo. Pois, embora o movimento não seja senão um modo na matéria que é movida, ele tem no entanto uma certa quantidade, que não aumenta nem diminui jamais, embora haja às vezes mais e às vezes menos em algumas de suas partes. É por isso que, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais rápido do que uma outra,

> e quando essa outra é duas vezes maior do que a primeira, devemos pensar que há tanto movimento na menor quanto na maior; e que sempre que o movimento de uma parte diminui, a de alguma outra parte aumenta em proporção. Sabemos também que é uma perfeição de Deus, não apenas que ele é imutável em sua natureza, mas também que ele age de uma forma constante e imutável; e assim, além das mudanças que observamos no mundo, e aquelas em que acreditamos, pois Deus as revelou, e que nós sabemos acontecerem ou ter acontecido na natureza, sem qualquer mudança por parte do Criador, nós não devemos supor outras [mudanças] em suas obras, por medo de lhe atribuir inconstância. De onde se segue que, como ele moveu de várias formas diferentes as partes da matéria, quando ele as criou, e como ele as mantém todas no mesmo modo e com a mesma razão com que as criou, ele conserva sempre nela uma igual quantidade de movimento. (DESCARTES, 1644, p. 53-54)

Descartes justificou o princípio da conservação do movimento por um argumento tirado da teologia natural, que tem raízes profundas nas filosofias de Aristóteles e de Platão (MENN, 1990, p. 217-218). Esses dois pensadores atribuíram ao céu um movimento circular uniforme cuja causa é Deus. Descartes concluiu que não apenas os movimentos celestes mas também os sublunares são constantes, pois todos eles provêm igualmente de Deus (MENN, 1990, p. 227).

Sabe-se que Descartes emprestou a ideia principal da conservação do movimento de seu amigo holandês Isaac Beeckman (1588-1637). Ambos conceberam o movimento em termos da conservação do movimento de um corpo por Deus, sem qualquer ideia de uma causa interna de movimento, ou seja, sem nada equivalente ao ímpeto medieval (ARTHUR, 2007, p. 3). A principal diferença entre suas opiniões foi que Beeckman não associava essa conservação de movimento a uma trajetória reta, aceitando também a possibilidade de movimentos circulares – tais como o movimento da Terra em torno do Sol – sem nenhuma causa externa (ARTHUR, 2007, p. 4, 7-8). Para Descartes, pelo contrário, todos os corpos possuem uma tendência a se mover uniformemente em linha reta.

Os estados de repouso e de movimento

Na física de Aristóteles, todo movimento é uma mudança; e toda mudança precisa ser explicada por uma causa. As mudanças, para Aristóteles, são de diversos tipos, incluindo mudanças qualitativas (por exemplo, de cor), de tamanho e de posição. O deslocamento de um ponto para outro é uma mudança, e não poderia ocorrer sem uma causa.

A teoria do ímpeto não negava essas ideias de Aristóteles. O ímpeto era considerado uma causa do movimento, ou seja, era aquilo que tornava o deslocamento de um corpo compreensível.

A postura de Descartes é diferente. Ele considera que o deslocamento de um ponto para outro *não é uma mudança e não precisa ser explicado*.

Para ele, "o movimento – pelo menos o movimento retilíneo uniforme – não era um processo e sim um estado, e como tal equivalente ontologicamente a um estado de repouso, e não exigindo qualquer força externa, como o repouso". (COHEN, 1964, p. 132).

> Ora, é exatamente e apenas por ser um *estado* – assim como o repouso – que o movimento pode se conservar e que os corpos podem perseverar em seu movimento sem a necessidade de qualquer força ou causa que os mova, exatamente como persistem em seu repouso. É óbvio que os corpos não poderiam fazer isso enquanto o movimento era considerado como um processo de mudança. (KOYRÉ, 1965, p. 67).

Vamos analisar com mais cuidado o enunciado da primeira lei de Descartes: "A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas" (DESCARTES, 1644, p. 54). O *estado* de um corpo só pode mudar por causas externas. Aristóteles concordaria com isso; mas ele não poderia admitir que o movimento de um corpo é um *estado*.

Ao afirmar que o movimento é um *estado*, assim como o repouso, Descartes introduziu uma mudança filosófica profunda. Em certo sentido, um corpo em movimento uniforme não está sofrendo nenhuma mudança e, portanto, esse tipo de movimento não exige qualquer explicação ou causa (OLIVER, 2001, p. 185). Apenas mudanças de movimento exigem uma explicação, e essas mudanças serão explicadas por influências externas.

Newton utilizou esse conceito de *estado de movimento* criado por Descartes. No seu enunciado da lei de inércia, temos: "Todo corpo persevera em seu *estado de repouso ou de movimento* uniforme em uma direção, a menos que compelido a mudar seu estado por uma força impressa" (NEWTON, 1687, p. 12, grifos nossos). A expressão *estado de movimento* se tornou atualmente tão familiar, que não percebemos que ela envolve um conceito paradoxal, no entanto, ela pareceu estranha a muitas pessoas, durante um longo tempo:

> Muitos anos atrás, foi bem observado pelo Bispo Horsely, que as palavras 'status motus', estado de movimento, implicam uma contradição direta de seus termos. 'Eu acredito' (disse o Bispo) 'que é necessário algum princípio ativo tanto para o início quanto para a continuação do movimento. Eu sei que muitos newtonianos não aceitarão isso. Acredito que eles estão equivocados, como eu próprio fui enganado anteriormente pela expressão *um estado de movimento*. Movimento é uma mudança... *Estado* implica o contrário de mudança, e sendo o movimento uma mudança, um *estado de movimento* é uma contradição em termos.' O raciocínio do Bispo parece totalmente conclusivo, e concorda perfeitamente com o sentido comum e com a linguagem humana. (TAYLOR, 1817, p. 15).

Imagino que alguns de meus leitores vão considerar os comentários acima tolos, já que foram feitos por um bispo, que não sabe nada sobre Física. É relevante, por isso, esclarecer que Samuel Horsley (1733-1806), além de ser um pastor anglicano e bispo de Rochester a partir de 1792, era uma pessoa extremamente envolvida com as ciências. Ele foi eleito membro da *Royal Society* em 1767, tendo atuado como secretário dessa sociedade de 1773 a 1784. Entre outras coisas, ele foi o editor das obras completas de Newton: *Isaaci Newtoni opera quae exstant omnia*. Commentariis illustrabat Samuel Horsley. London: John Nichols, 1779-1785. 5 v.

Vamos agora esclarecer o que o bispo Horsley queria dizer. O adjetivo latino *status* significa fixo, estabelecido, indicado; como substantivo, significa uma parada, posição, postura, situação (SMITH; LOCKWOOD, 2000, p. 707). O termo *status* está associado etimologicamente às palavras *stabilis* (estável, firme), *stabilitas* (estabilidade, firmeza, durabilidade), *statio* (estação, parada, ou o ato de ficar parado), *stativus* (ficar parado, estacionário), *statua* (estátua), etc. (SMITH & LOCKWOOD, 2000, p. 705-706). Todas essas palavras transmitem a ideia de repouso, não de movimento. Na Física, o termo *estática* (que também está associado a *status*) significa o estudo do equilíbrio, contrapondo-se ao estudo do movimento. Em muitas obras filosóficas medievais e do período moderno, *status* era considerado sinônimo de *quietis* (repouso), em frases como esta: "Natura [est] principium motus & status seu quietis" (DIONYSIUS, 1644, p. 181).

Portanto, o uso da expressão *estado de movimento* (*status motus*) por Descartes era realmente paradoxal e intrigante.

A relatividade do repouso e do movimento

Um dos argumentos mais importantes de Descartes a favor de sua primeira lei da natureza é a relatividade do movimento: repouso e movimento não são coisas totalmente distintas, já que um objeto parado em relação a um navio estará se movendo em relação ao litoral. Portanto, não é necessária mais ação para manter um corpo em movimento do que para mantê-lo parado.

> Pois para determinar o seu lugar [a posição de um corpo] devemos notar algum outro corpo que consideramos como parado; mas conforme a diferença entre aqueles que considerarmos [como estando parados] seremos capazes de dizer que a mesma coisa, no mesmo tempo, muda de lugar e não muda. Por exemplo, se considerarmos um homem assentado na popa de um navio que o vento leva para longe do porto, e apenas levarmos em conta este navio, este homem não muda de posição, pois vemos que ele sempre permanece na mesma situação em relação às partes do navio sobre o qual está [...] e se considerarmos as terras próximas, este homem muda constantemente de posição, porque ele se afasta destas e se aproxima de algumas outras. (DESCARTES, 1644, p. 40).

Não existe, portanto, nenhuma diferença essencial entre repouso e movimento. Se uma caixa está parada sobre o tombadilho do navio, ninguém irá pensar que é necessária uma força para mantê-lo parado; mas se o navio está se movendo em relação ao litoral, também não pode ser necessária nenhuma força para fazer a caixa acompanhar o movimento do navio, já que a situação é sempre a mesma, sendo apenas descrita com relação a diferentes sistemas de referência.[10]

Assim, se podemos dizer que um corpo parado permanece no mesmo *estado*, também podemos dizer que um corpo em movimento permanece no mesmo *estado*, levando em conta um outro sistema de referência.

Newton percebeu claramente a importância desse aspecto do pensamento de Descartes, e se referiu a ele em sua definição de inércia:

> Atribui-se vulgarmente resistência aos que estão em repouso, e ímpeto aos que estão em movimento; mas movimento e repouso, conforme concebidos vulgarmente, se diferenciam apenas relativamente; e os corpos que vulgarmente são considerados como parados não estão sempre realmente parados. (NEWTON, 1687, p. 2).

Percebe-se, portanto, que Newton adotou os principais aspectos do pensamento cartesiano a respeito do movimento, no entanto não se deve imaginar que a conceituação newtoniana seja idêntica à do filósofo francês. Há diversos aspectos do pensamento de Newton que são incompatíveis com o de Descartes: sua aceitação do movimento absoluto; alguns conceitos teológicos; seu conceito de atividade da matéria; e a ideia de que a inércia é uma *força*.

Diferenças entre Newton e Descartes

Conceitos teológicos e movimento absoluto

Para Descartes, não existe o espaço vazio; o espaço é uma relação entre corpos materiais, e o lugar ocupado por um objeto é definido pelas outras coisas materiais que estão à sua volta. Por essa razão, ele aceitava um princípio da relatividade do movimento muito amplo, e este princípio estabelece a equivalência entre repouso e movimento.

Embora Newton também aceitasse o princípio da relatividade do movimento, suas ideias eram muito diferentes. Para ele, existe um espaço absoluto, e há uma diferença entre movimento relativo e movimento absoluto. Embora ele admita que não podemos detectar uma translação absoluta, seria possível detectar *rotações* e *acelerações* absolutas (ver: Lacey, 1970; Laymon, 1978; Arthur, 1994; Rynasiewicz, 1995).

[10] Descartes não utilizou a expressão *sistema de referência*, mas é mais fácil descrever suas ideias utilizando essa expressão.

A aceitação de um espaço absoluto por Newton pode ser considerada um aspecto da sua dinâmica, mas também tem um componente teológico. De acordo com ele, Deus tem uma ação direta sobre o mundo, não apenas ao criá-lo, mas também em manter a sua ordem. Para Newton, o espaço está preenchido por Deus e é, de certa forma, o órgão sensorial divino (McGUIRE, 1978, p. 507). Assim, Deus sabe se um corpo está realmente se movendo ou não. Como a concepção de movimento de Newton é completamente diferente da de Descartes, poderia haver uma diferença dinâmica entre repouso e movimento. Em princípio, poderia existir inércia no sentido de uma resistência ao movimento, sem uma tendência correspondente de manter o movimento dos corpos. Por isso, ao contrário de Descartes, Newton precisava de uma *explicação* para o movimento uniforme dos corpos que não estão sujeitos a forças externas. E foi por isso que ele continuou a manter, em seu pensamento dinâmico, um conceito semelhante ao do ímpeto, atribuindo poderes ativos à matéria e interpretando a inércia como uma força interna.

Atividade da matéria

No antigo pensamento grego, a matéria, considerada o substrato material dos corpos, era caracterizada pela sua passividade. A atividade dos corpos era devida à *natureza*, ou seja, à *physis*. No pensamento medieval, a matéria também era concebida como inerte (JAMMER, 1997, p. 31–35) e essa ideia manteve-se depois, sendo aceita por quase todos os filósofos do século XVII (SILVER, 1973, p. 599).

Para Descartes, a matéria é simplesmente espaço preenchido (não há espaço vazio, para ele) e todas suas propriedades surgem de sua extensão. Ela seria totalmente passiva, sem qualquer princípio ativo. É exatamente por causa da inatividade da matéria que ela não pode mudar, por si própria, o seu estado de repouso ou de movimento, na filosofia cartesiana.

A posição de Newton é diferente. Embora ele considerasse que a matéria, em si, é um princípio passivo incapaz de se mover sozinha (McMULLIN, 1978, p. 29), sua ontologia incluída também *forças*, que não podem ser reduzidas à matéria, e que constituem o princípio dinâmico da natureza. Esses princípios ativos seriam manifestações da ação de Deus no mundo natural (GABBEY, 1971, p. 14).

O conceito de Newton de uma atividade interna à matéria proveio de duas fontes principais: a influência da filosofia neo-platônica (especialmente por intermédio do filósofo Henry More) e seus estudos sobre alquimia (McMULLIN, 1978, p. 43-44).

Para Descartes, não existem essas forças e esse dinamismo interno da matéria; há apenas matéria passiva e movimento.

Inércia como *força*

No pensamento newtoniano, a inércia é uma *força* que age dentro dos corpos:

> Definição 3. A força inerente [*vis ínsita*] da matéria é um poder de resistir, pelo qual todo corpo, tanto quanto é capaz, persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em uma direção reta. (NEWTON, 1687, p. 2).

Como já indicamos, a ideia de Descartes de conservação do movimento não exige uma explicação dinâmica, mas a de Newton sim, por isso ele continuou a utilizar um conceito semelhante ao de ímpeto: uma *força interna* que mantém o corpo em movimento uniforme. Como Ernan McMullin comentou, "É evidente a tensão entre essa concepção, que lembra as antigas teorias do ímpeto, e as novas idéias que já estavam implícitas nas leis do movimento cartesianas". (McMULLIN, 1978, p. 41).

Para Newton, a força interna mantém o movimento; e a *força impressa* (externa) modifica o movimento. Isso é bem diferente do que encontramos nos livros-texto; mas é o que Newton pensava.[11]

A força do movimento, em Descartes

Descartes se referiu, em alguns pontos, à força de um corpo em movimento, embora a conceituação cartesiana dispense uma *causa* para explicar a continuação do movimento de um corpo, (MELI, 2006, p. 323-324). Isso aparece, por exemplo, no enunciado da primeira lei da natureza do *Le monde*, que já foi apresentado anteriormente; e no seguinte trecho de sua correspondência:

> […] pelo simples fato de que um corpo começou a se mover, é certo que ele tem dentro de si a força de continuar a se mover; da mesma forma, pelo simples fato de que ele está em repouso em algum lugar, é certo que ele tem a força de continuar a permanecer lá. (carta de Descartes para MERSENNE, outubro de 1640, *apud* ARTHUR, 2007, p. 6).

Note-se, no entanto, que essa ideia é diferente do conceito de ímpeto, pois Descartes associou uma força *tanto ao repouso quanto ao movimento*, indiferentemente. E, assim como não precisamos de uma *causa* para explicar a continuidade do repouso, não precisamos de uma causa para explicar a continuação de um movimento.

Esse conceito cartesiano de força de repouso e força de movimento foi mantido nos *Princípios da filosofia*:

[11] Para mais detalhes sobre a concepção de Newton sobre a *vis ínsita*, ver nosso trabalho que está em vias de publicação: *The law of inertia and vis insita: Newton and his sources*.

> Além disso, deve-se notar que a força com a qual um corpo atua contra outro corpo ou resiste à sua ação consiste apenas nisto, que cada coisa persevera, quanto quando é capaz, em continuar no mesmo estado em que se encontra, de acordo com a primeira lei que foi apresentada acima [...] E também quando ele [o corpo] está em repouso ele tem uma força de permanecer em repouso e de resistir a tudo o que poderia fazê-lo mudar. Do mesmo modo, quando ele se move tem uma força para continuar a se mover com a mesma velocidade e na mesma direção. (DESCARTES, 1651, p. 101-102).

Essa não é uma força *ativa*, que mantém o movimento; mas é uma força *reativa*, que apresenta uma resistência à mudança de estado de repouso ou de movimento. É bem diferente do conceito newtoniano de uma força interna que mantém o movimento.

Comentários finais

A lei da inércia que se ensina atualmente não é a concepção desenvolvida por Newton. De fato, a física *oficial* não conservou as ideias newtonianas de espaço e movimento absolutos, de um Deus capaz de distinguir repouso de movimento, de uma matéria dotada de poderes ativos e de uma força interna que conserva o movimento dos corpos. A conceituação que é ensinada hoje em dia é muito mais próxima do pensamento de Descartes (deixando de lado a sua justificativa teológica). Além disso, Descartes publicou suas ideias mais de 40 anos antes do que Newton. Assim, seria mais razoável declarar, nos livros-textos, que aquilo que está sendo ensinado é a *lei da conservação do movimento de Descartes*, do que lhe dar o nome de *primeira lei de Newton*.

A análise histórica aqui apresentada permite perceber alguns dos principais componentes do princípio cartesiano da conservação do movimento: (1) os conceitos de *estado de repouso* e *estado de movimento*; (2) o princípio da relatividade dos movimentos. Parece-me que esses dois aspectos podem e devem ser enfatizados no ensino da *lei da inércia*. Por outro lado, muitos estudantes tendem a pensar sobre o movimento inercial utilizando concepções semelhantes às do ímpeto (ver: Steinberg, Brown e Clement, 1990; Kozhevnikov e Hegarty, 2001; Song, Cho, e Chung, 1997; Halloun e Hestenes, 1985; Clement, 1982). Os professores devem estar cientes disso, e devem compreender que se trata de ideias que devem ser respeitadas e discutidas racionalmente, e não descartadas como *primitivas*, *erradas* ou *irracionais*. Afinal de contas, o próprio Newton admitia essa ideia.

Agradecimentos

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), cujos apoios possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

ARTHUR, Richard. Space and relativity in Newton and Leibniz. *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 45, p. 219-240, 1994.

ARTHUR, Richard. Beeckman, Descartes and the force of motion. *Journal of the History of Philosophy*, 45, p. 1-28, 2007.

CLEMENT, John. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, p. 66-71, 1982.

COHEN, Isaac Bernard. 'Quantum in se est': Newton's concept of inertia in relation to Descartes and Lucretius. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 19, p. 131-155, 1964.

DESCARTES, René. *Principia philosophiae*. Amsterdam: Louis Elzevir, 1644.

DESCARTES, René. *Les principes de la philosophie*. Escrits en Latin, et traduits en Français par un de ses amis. Paris: chez Henry le Gras et Edme Pepingué, 1651.

DESCARTES, René. *Le monde de mr. Descartes, ou le traité de la lumière et des autres principaux objets des sens*. Paris: Michel Bobin et Nicolas le Gras, 1664.

DIJKSTERHUIS, Eduard Jan. *The mechanization of the world picture*. Princeton: Princeton University Press, 1986.

DIONYSIUS AREOPAGITA. *Sancti Dionysii Areopagitae operum omnium quae extant, et commentariorum quibus illustrantur*. Tomus II. Paris: apud Antonium Stephanum, 1644.

DUHEM, Pierre Maurice Marie. *Études sur Léonard de Vinci. Troisième série: Les précurseurs parisiens de Galilée*. Paris: Hermann, 1913.

DUHEM, Pierre. Research on the history of physical theories. *Synthese*, v. 83, p. 189-200, 1990.

DUTTON, Blake D. Physics and metaphysics in Descartes and Galileo. *Journal of the History of Philosophy*, v. 37, p. 49-71, 1999.

FEYERABEND, Paul. *Against method*. 3rd edition. London: Verso, 1993.

FRANCO, Abel B. Avempace, projectile motion, and impetus theory. *Journal of the History of Ideas*, 64, p. 521-546, 2003.

FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the Middle Ages. *American Journal of Physics*, v. 44, p. 529-545, 1976a.

FRANKLIN, Alan. *The principle of inertia in the Middle Ages*. Boulder: Colorado Associated University Press, 1976b.

GABBEY, Alan. Force and inertia in seventeenth-century dynamics. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 2, p. 1-67, 1971.

HALL, A. Rupert; HALL, Marie Boas. *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.

HERIVEL, John. *The background to Newton's Principia: a study of Newton's dynamical researches in the years 1664-84*. Oxford: Clarendon Press, 1965.

JAKI , Stanley L. The Christological origins of Newton's first law. p. 393-407, in: *Science and the future of mankind*. Vatican: Pontificia Academia Scientiarum, 2001.

JAMMER, Max. *Concepts of mass in classical and modern physics*. New York: Dover, 1997.

KOYRÉ, Alexandre. *Newtonian studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965.

KOYRÉ, Alexandre. *Études galiléennes*. Paris: Hermann, 1966.

KOZHEVNIKOV, Maria; HEGARTY, Mary. Impetus beliefs as default heuristics: dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin and Review*, v. 8, p. 439-453, 2001.

LACEY, Hugh M. The scientific intelligibility of absolute space: a study of Newtonian argument. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 21, p. 317-342, 1970.

LAYMON, Ronald. Newton's bucket experiment. *Journal of the History of Philosophy*, 16, p. 399-413, 1978.

MARTINS, Roberto de Andrade. Natural or violent motion? Galileo's conjectures on the fall of heavy bodies *Dialoghi – Rivista di Studi Italici,* 2 (1/2), p. 45-67, 1998.

MCGUIRE, James E. Existence, actuality and necessity: Newton on space and time. *Annals of Science*, 35, p. 463-508, 1978.

MCMULLIN, Ernan. *Newton on matter and activity*. Notre Dame: University of Notre Dame, 1978.

MELI, Domenico Bertoloni. Inherent and centrifugal forces in Newton. *Archive for History of Exact Sciences,* v. 60, p. 319-335, 2006.

MENN, Stephen. Descartes and some predecessors on the divine conservation of motion. *Synthese,* v. 83, p. 215-238, 1990.

NEWTON, Isaac. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. London: Joseph Streater, 1687.

OLIVER, Simon. Motion according to Aquinas and Newton. *Modern Theology*, v. 17, p. 163-199, 2001.

RYNASIEWICZ, Robert. By their properties, causes and effects: Newton's scholium on time, space, place and motion. *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, p. 133-153, 295-321, 1995.

ROBERTSON, William. *Phraseologia generalis*. Cambridge: John Hayes, 1681.

SHAPERE, Dudley. *Galileo: a philosophical study*. Chicago: University of Chicago Press, 1974.

SHEA, William R. *Galileo's intellectual revolution*. New York: Science History Publications, 1972.

SILVER, Bruce. Berkeley and the principle of inertia. *Journal of the History of Ideas*, 34, p. 599-608, 1973.

SMITH, Sir William; LOCKWOOD, Sir John. *Latin English dictionary*. Edinburgh / London: Chambers / John Murray, 2000.

SONG, Jinwoong; CHO, Sook- Kyoung; CHUNG, Byung-Hoon. Exploring the parallelism between change in students' conceptions and historical change in the concept of inertia. *Research in Science Education*, 27, p. 87-100, 1997.

STEINBERG, Melvin S.; BROWN, David E.; CLEMENT, John. Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 265-273, 1990.

TAYLOR, Thomas.[12] Vindiciae antiquae. No. 1. *The Classical Journal*, 16, p. 6-22, 1817.

TURNBULL, H. W. (Ed.). *The correspondence of Isaac Newton*. v. 1, 1661-1675. Cambridge: University Press, 1959.

WESTFALL, Richard S. Circular motion in seventeenth-century mechanics. *Isis*, v. 63, p. 184-189, 1972.

WESTFALL, Richard S. *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

WHITESIDE, Derek Thomas. Before the Principia: the maturing of Newton's thoughts on dynamical astronomy, 1664-1684. *Journal of the History of Astronomy*, 1, p. 5-19, 1970.

WHITESIDE, Derek Thomas. The prehistory of the 'Principia' from 1664 to 1686. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 45, p. 11-61, 1991.

WHITROW, G. J. The laws of motion. *The British Journal for the History of Science*, 5, p. 217-234, 1971.

[12] Este artigo foi publicado de forma anônima. A identidade do autor é revelada nas páginas 123-124 de uma resenha: The works of Richard Bentley, D. D. Collected and edited by the Rev. Alexander Dyce. *The Church of England Quarterly Review*, 4, p. 91-125, 1838.

A RELAÇÃO ENTRE AS HIPÓTESES E O PAPEL DE DEUS NA DOUTRINA NEWTONIANA*

Capítulo 12

Diego Aurino da Silva
Luiz O. Q. Peduzzi

O valor das hipóteses e o papel de Deus na doutrina newtoniana

O vocábulo grego *hupóthesis* > *hypothesis* é literal e normalmente traduzido por especialistas como *algo posto por baixo*, em outras palavras, é a ideia fundamental, o postulado, o princípio ou o fundamento de algo. Na *República*, Platão (1965, 533a) se expressa por meio de uma passagem bem conhecida de Sócrates e Glauco, na qual a concepção de hipótese é trazida à tona do seguinte modo:

> Quanto às que fazem exceção, e que, como dissemos, apreendem algo da essência – a geometria e as artes que se lhe seguem – vemos que conhecem o ser apenas, em sonho e que lhes será impossível ter uma visão real dele, enquanto considerarem intangíveis as hipóteses de que se servem, por não poderem apresentar as razões destas.

A discussão aqui se concentra em torno do fato de uma reflexão a respeito de um método que possa, entre outras coisas, compreender *epistemicamente* a essência de cada coisa.

A matemática, de modo nítido, representada pela geometria, na concepção exposta, teria como central a característica de não emitir hipóteses, ou seja, não possuir as hipóteses na condição de princípios; essa propriedade da geometria, segundo Platão, deve-se ao fato de ela não ser capaz de explicar as hipóteses. Assim, genericamente, a concepção de hipótese seria aquela da qual algumas consequências podem ser extraídas de um *acontecimento* ou um *fato* suposto.

A primeira análise lógica das hipóteses é estruturada por Aristóteles. O Estagirita, assim como Platão, também relaciona as hipóteses com suas consequências. Eis uma passagem relevante do *Física* a esse respeito:

> Todas as causas aqui mencionadas caem em quatro modos mais manifestos. Pois as letras das sílabas, bem como a matéria dos fabricáveis, o fogo e, entre os corpos, os que são desses tipos, assim como as partes do todo e as hipóteses da conclusão, são causas como aquilo *a partir de que*, desses itens, uns são causa como o subjacente (por exemplo, as partes), ao passo que outros são causa como o *quê-era-ser*. (ARISTÓTELES, 2009, Livro II, 195a, grifos do autor).

* Trabalho desenvolvido com o apoio parcial do CNPq.

Para entender essa passagem, é importante notar que esse trecho do *Livro II* do Física é muito conhecido pela razão de trazer uma notável discussão sobre o que é o conhecer na concepção aristotélica. Para o tutor de Alexandre, o conhecer nada mais é do que conhecer o porquê das coisas (ARISTÓTELES, 1995). Dessa forma, apresenta-se a noção das quatro causas como um princípio para a possibilidade de conhecer algo.

No parágrafo explicitado, segundo Angioni (2009, p. 243), Aristóteles apresenta as premissas para designar as causas materiais de uma dada conclusão "pois são aquilo *de onde* ou *de que* procede a conclusão". O mesmo tradutor diz que, por outro lado, as hipóteses servem para designar as premissas, "entendidas como aquilo que se assume previamente, como fundamento do qual se depreende a necessidade da conclusão".

De um modo mais claro e geral, pode-se dizer que as hipóteses continuam presas àquelas consequências apresentadas por Platão; contudo, em Aristóteles, elas assumem a postura de ser um *enunciado*, uma *sentença* ou uma *proposição* que antecedem outro enunciado e, assim, constituem seu fundamento. Não obstante, ainda seguindo as explicações de Angioni (2009), percebe-se nos *Segundos Analíticos* um sentido mais estrito para hipóteses, bem como mais ancorado na estrutura lógica:

> [...] é hipótese a que assume qualquer uma das partes da contradição, isto é, que algo é o caso, ou que algo não é o caso; definição, por sua vez, é aquela que é sem isso. Com efeito, a definição é tese [...], mas não é hipótese; pois não são o mesmo 'o que é a unidade?' e 'ser o caso a unidade'. (ARISTÓTELES, 2004, 72a 18).

De acordo com Angioni (2004, p. 76-77), essa apresentação do conceito de hipótese tem sido compreendida como uma asserção de existência, ou seja, "existem números", "números são o caso" etc. Entretanto, como é possível atentar, "o problema é que uma concepção assim restrita de hipótese não é compatível com outros usos do mesmo termo, nos quais ele designa proposições que, certamente, não podem ser tomadas como meras asserções de existência".

O mesmo tradutor mostra uma solução possível, baseada diretamente na tradução, na qual ser uma hipótese "[...] seria, simplesmente referir uma pretensão de verdade a um fato cuja análise resultaria em predicação". Isto é, intrinsecamente: "[...] atribuir existência e objetividade a fatos proposicionais."

Dessa maneira, quando uma dada proposição hipotética passa a ser verificada, ela deixa de ser uma hipótese. Com isso, o Estagirita apresenta uma definição de hipótese muito próxima, no sentido *lato*, da concepção utilizada hoje em dia: quando alguém aceita uma hipótese qualquer o faz por convenção, mesmo sabendo da legitimidade não comprobatória das suas definições.

De modo geral, o termo hipótese não teve um aprofundamento significativo até o surgimento da ciência moderna. Com o fortalecimento das

características indutivistas e descritivistas da nova ciência, o conceito de hipótese, principalmente o valor hipotético das teorias físicas, voltou a ser de grande importância.

Isaac Newton tornou-se o filósofo natural que mais bem expressa essa preocupação: "[...] até agora, eu não sou capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos e não simulo hipóteses". (NEWTON, 1934, p. 547, tradução nossa). Ele procurou vulgarizar o valor das hipóteses em seus trabalhos; todavia, buscou muitas vezes, ao longo de sua carreira, hipóteses para a causa da gravidade, incluindo a ação contínua de Deus na qualidade de causa final da gravitação. Mesmo assim, a mais famosa sentença do *Escólio Geral*, *hypotheses non fingo*, foi sempre apresentada como um grande símbolo do estilo newtoniano.

Os seguidores mais francos e diretos do estilo newtoniano levaram com seriedade a vulgarização das hipóteses. MacLaurin (2002, p. 160), na sua clara defesa à filosofia de Newton contra "os grandes desestímulos nas eras da obscuridade e superstição", critica fortemente "a liberdade de inventar princípios e hipóteses a partir dos quais afirmassem explicar todos os mistérios da natureza". Colin Maclaurin expressava-se de modo contrário àqueles que criavam princípios e hipóteses deliberadamente; o sentido de hipótese assumia uma concepção completamente pejorativa para a ciência baseada em princípios matemáticos e estruturados por meio da verificação experimental.[1]

Para Cohen e Westfall (2002, p. 145), ao expressar com veemência que não simulava hipóteses, "Newton parecia estar dizendo não seguir o estilo de Descartes, que havia introduzido a ficção de imensos vórtices de uma matéria invisível que girava no espaço, carregando os planetas em suas órbitas". O professor de Cambridge deixa clara sua posição na *Regra 4,* na qual expressa a importância de os argumentos da indução não se evadirem pelas hipóteses.

> Na filosofia experimental, nós olhamos com respeito para as proposições coletadas pela indução geral a partir dos fenômenos, com exatidão ou muito próximo da verdade, apesar de quaisquer hipóteses contrárias que possam ser imaginadas, até que, em um dado momento, outro fenômeno ocorra, pelo qual ele possa ser realizado de modo mais exato ou propenso a exceções. (NEWTON, 1934, p. 400, tradução nossa).

Mesmo o estilo newtoniano ainda apresentando certos problemas, ele havia chegado à sua estrutura definitiva. Esse foi o caminho escolhido por muitos seguidores diretos de Newton, sendo o caso principalmente de MacLaurin. O matemático britânico divulgou constantemente o *hypotheses*

[1] O tom metafórico da doutrina física de Descartes fez Isaac Newton repudiar de maneira aberta as hipóteses desprovidas de prévias experimentações orientadas para um fim. Entretanto, parece ter sido a intenção de Cartesius de considerar a física do ponto de vista da geometria um atrativo para o jovem estudante do Trinity Colege de Cambridge.

non fingo como a grande base da física newtoniana e, sobretudo, do método desenvolvido por Newton, abrindo mão de importantes aspectos do estilo newtoniano, como o papel de Deus no universo físico.

Desde a sua juventude acadêmica, Newton demonstrou forte interesse em uma reformulação do método da nova ciência. No *Principia*, o amadurecimento sobre essa questão já era bem mais claro; a demonstração fortalecida pelo poder da experimentação, juntamente com a vulgarização da física hipotética de Descartes, passou a ser uma das características principais do estilo newtoniano.

Em resposta ao padre Ignace Pardies, Newton procurou exemplificar de que modo as hipóteses poderiam ser úteis para a nova ciência, opondo-se à proposta utilizada pelos mecanicistas em geral. Ele, naturalmente, estava tentando, mais uma vez, defender-se de uma possível qualidade hipotética de sua teoria. O mesmo padre francês, tempos antes, havia chamado a teoria de Newton de hipótese, o que provocou certa indignação por parte do filósofo britânico. Dessa forma, em carta, Newton buscou destacar que as hipóteses só poderiam ter validade na medida em que pudessem propor novos experimentos. Nas palavras de Newton (1672):

> [...] [a] melhor e mais segura maneira de filosofar parece consistir, primeiro, em investigar diligentemente as propriedades das coisas e estabelecer essas propriedades por meio de experimentos, e depois, em proceder com mais vagar em direção a hipóteses para a explicação deles. (NEWTON apud COHEN; WESTFALL, 2002, p. 147-148).

De acordo com Shapiro (2002, p. 240), o mecanicismo cartesiano, bem como de outras correntes posteriores à física aristotélica e escolástica, firmavam uma forte oposição ao aristotelismo;[2] a física aristotélica alegava ontologicamente que compreender o funcionamento interno da natureza era uma das necessidades para se conhecer, enquanto os mecanicistas declaravam a impossibilidade da determinação desse funcionamento interno. Dessa maneira, restaria ao filósofo natural apenas fazer uma descrição mais provável a fim de explicar os fenômenos, isto é, formular hipóteses, No entanto, a formulação de tais hipóteses mostrou-se rapidamente fora de controle; não foram poucos os modelos criados pelo simples livre-arbítrio do intelecto. A imaginação dos mecanicistas estava transformando a ciência moderna em uma mera conjectura sobre mecanismos invisíveis e hipotéticos. "O objetivo de Newton era substituir essas explicações quantitativas probabilísticas e fundar uma nova espécie de certeza e verdade". Para isso, a descrição da natureza deveria se dar por

[2] Um dos aspectos fundamentais do método cartesiano é a negação do silogismo aristotélico. [...] quanto à lógica, seus silogismos e a maior parte de seus outros preceitos servem mais para explicar aos outros as coisas já conhecidas, ou mesmo, como a arte de Lúlio, para falar, sem formar juízo, daquelas que são ignoradas, do que para aprendê-las. E apesar de ela conter, realmente, uma porção de preceitos muito verdadeiros e muito bons, existem contudo tantos outros misturados no meio que são ou danosos, ou supérfluos, que é quase tão difícil separá-los quanto tirar uma Diana ou uma Minerva de um bloco de mármore que nem ao menos está delineado. (DESCARTES, 1999, discurso II, p. 48-49).

meio de princípios matemáticos, baseando-se também "[...] no fenômeno, ou na experimentação e observação."

A essência do que Newton pretendia dizer está, intimamente, ligada ao sentido de hipótese muito próximo à noção de opinião. No *Commercium Epistolicum*[3], ele critica a postura mecanicista por atulhar a filosofia de opiniões, as quais não poderiam ser comprovadas pelos fenômenos. Por essa razão, defende a experimentação como o caminho mais seguro para a verdade; assim, somente os experimentos poderiam servir de conclusão epistêmica para algo.

Em sua carta de fevereiro de 1672 para Olderburg, o jovem Newton já parecia seguro a esse respeito, pois, ao falar sobre suas conclusões acerca da origem das cores, ele afirma:

> Eu devo dizer quanto a isso que elas [as conclusões] não são hipóteses, mas sim as mais rígidas conseqüências, não conjecturadas pela simples inferência, pois é assim e não de outro modo ou porque satisfaz o fenômeno (tópico universal dos filósofos), porém evidenciados pela mediação dos experimentos, concludentes diretamente e sem qualquer suspeita de dúvida. (NEWTON, 1972, tradução nossa).

Seguindo o exemplo dos experimentos a respeito da *Hipótese da Luz*, na *Seção 6* do *Livro II* do *Principia*, o filósofo de Woolsthorpe falou de um experimento que, de certo modo, serviu para abalar sua confiança nas hipóteses do éter cósmico.

> De modo recente, é do ponto de vista de alguns a existência de certo meio etéreo muito escasso e tênue – o qual percorre livremente os poros de todos os corpos e que, por esse meio, penetra os poros dos corpos; portanto, deve necessariamente surgir alguma resistência; eu pensei neste experimento, a fim de verificar se a resistência que se experimenta nos corpos em movimento é exercida apenas sobre suas superfícies externas.4 (NEWTON, 1934, p. 325, tradução nossa).

De acordo com Cohen e Westfall (2002, p. 189), "a experimentação tornou-se um princípio e um método para Newton", e a base experimental da sua filosofia passou a ser o traço mais marcante da ciência newtoniana. Nesse mesmo caminho, a abertura do "Livro I" do "Óptica" apresenta a seguinte afirmação: "Meu intento neste livro não é explicar as propriedades da luz por meio de hipóteses, mas sim propô-las e prová-las com o uso da razão e dos experimentos" (NEWTON, 1952, p. 1, tradução nossa).

Para Hall e Hall (2002, p. 102), "Newton tentou repetidamente convencer-se de que havia provas experimentais suficientes para proporcionar uma base sólida para uma teoria definitiva, e repetidamente ficou claro que não havia". Por isso, percebe-se com facilidade que o propósito dos experimen-

[3] Em essência, tanto o *Commercium* quanto as Exposições tinham como objetivo demonstrar que Leibniz havia plagiado Newton. Apesar de redigido em nome da Royal Society, o próprio Newton, então presidente dessa sociedade, havia redigido o livro em total sigilo.

[4] Nos parágrafos seguintes, Newton apenas descreve o experimento realizado.

tos do *Óptica* era muito mais propagar a autoridade da teoria newtoniana perante a sociedade científica do que contrapor-se às hipóteses.

No período de publicação do *Óptica*, o filósofo de Woolsthorpe já possuía um grande poder social, mesmo assim, conforme Schaffer (2002, p. 266), Newton valeu-se de sua influência para atacar seus críticos, "sobretudo contra o que percebeu como uma conspiração encabeçada por Leibniz e pelos autores do jornal *Acta Eruditorum*, de Leipzig". As ações do filósofo de Woolsthorpe não se resumiam apenas à perícia e à autoridade dos experimentos; também se utilizou constantemente dos recursos da sua presidência na Royal Society.

Isaac Newton assumiu a postura de que a força dos experimentos o livraria de qualquer acusação em relação a qualidades ocultas e a milagres. A sua grande preocupação fica clara quando ele busca, deliberadamente, justificar a ausência das explicações causais baseando-se no simples fato de elas ainda não terem sido descobertas. No *Commercium Epistolicum*, Newton tenta deixar claro o afastamento entre as possíveis qualidades ocultas, que decorreriam das formas específicas das coisas, e a ausência de explicações das causas finais,[5] simplesmente por ainda não as conhecer. Fundamentando-se, mais uma vez, na força dos experimentos, o então presidente da Royal Society ataca claramente Leibniz.

> Isso deve ser considerado, pois esses dois cavalheiros diferem muito na filosofia. Um deles procede utilizando-se de evidências retiradas dos experimentos e dos fenômenos, parando quando faltam evidências; o outro se abraça com hipóteses e as propõe sem examiná-las com experimentos, mas para se acreditar nelas sem examinação. (NEWTON, [171-], tradução nossa).

No *Óptica*, a fim de se defender contra o caráter hipotético das teorias, Newton lança mão de uma espécie de retorno aos antigos, justificando a omissão das explicações causais.

> Para rejeitar certo meio, nós temos a autoridade daqueles mais velhos e mais celebrados filósofos da antiguidade grega e fenícia, os quais fizeram do vácuo, dos átomos e da gravidade destes o princípio de suas filosofias, tacitamente atribuindo a gravidade a alguma outra causa que não fosse a matéria densa. (NEWTON, 1952, query 28, tradução nossa).

[5] "A causa final é o fim; aquilo em vista de quê." (ARISTÓTELES, 1970, A, III; ARISTÓTELES, 1995, II, 3). O problema ontológico aqui discutido relaciona-se intimamente com a seguinte passagem do *Metafísica*: "Tudo o que está em movimento tem de ser movido por algo. Se não tem em si mesmo o princípio de seus movimentos, é evidente que é movido por outra coisa, pois o que o move terá de ser outra coisa". (ARISTÓTELES, 1995, VII, 1, tradução nossa). Com tais passagens Aristóteles defende a postura de que não pode haver movimento sem causa. De modo geral, quando afirma "que ocorre vem a ser algo a partir de algo e por obra de algo que é da mesma espécie" o Estagirita está atribuindo essa relação diretamente ao conceito de substância. Por essa razão, não diz respeito a um determinismo mecânico ou simplesmente eficiente. Eis aqui a condição do rompimento do pensamento causal da filosofia natural da Era Moderna com o pensamento aristotélico. As quatro causas são na verdade uma exemplificação de como se modifica a substância na qualidade de substância em todos os seus modos, uma vez que essa é o princípio necessário das modificações. Com isso, quando a Física da Idade Moderna, a jovem filha de Galileu, renuncia às explicações causais e ontológicas da natureza, de modo especial em relação ao movimento, ela passa a se preocupar necessariamente com a mensuração do movimento e das mudanças em geral. Já a ciência do movimento aristotélica demonstra uma íntima relação entre a noção de causa e de substância.

O meio mencionado por Newton é aquele pelo qual a luz, consistindo em uma pressão ou movimento, propaga-se por meio dele. Naturalmente o que estava em jogo era a *Hipótese da Luz*. Na sequência:

> Os filósofos posteriores baniram a consideração de tal causa para fora da filosofia natural, dissimulando hipóteses a fim de explicar todas as coisas mecânicas, bem como referindo outras causas à metafísica, enquanto que a principal empreitada da filosofia da natureza é argumentar a partir dos fenômenos sem simular hipóteses e deduzir causas a partir dos efeitos, até nós chegarmos às causas finais, as quais certamente não são mecânicas. (NEWTON, 1952, query 28, tradução nossa).

Em essência, a *Questão 28* apresenta a rejeição a qualquer fluido denso que pudesse, de alguma maneira, preencher o espaço, contudo, essa passagem é muito conhecida, não apenas por apresentar esse retorno aos primórdios da filosofia grega, mas também, principalmente, pelo claro ataque aos *filósofos posteriores*, aos quais poderiam ser adicionados Leibniz e Descartes. Acima de tudo, Newton tenta deixar claro que a principal tarefa da filosofia deve consistir em extrair dos fenômenos os seus argumentos e procurar as causas por meio dos efeitos.

No Epistolicum, Newton ([171-], tradução nossa) comenta essa mesma questão:

> Deve a filosofia experimental ser explorada na qualidade de algo miraculoso ou obscuro, porque não afirma nada além do que pode ser obtido por meio dos experimentos e, além disso, por nós ainda não conseguirmos provar pelos experimentos que todo o fenômeno natural pode ser solucionado pelas meras causas mecânicas? Certamente que essas coisas precisam ser mais bem consideradas.

Não são poucas as controvérsias a respeito do estudo das hipóteses na física newtoniana; pelo seu amplo repertório, é quase sempre possível buscar vários argumentos, como o de que Newton aceitava o uso das hipóteses ou mesmo as excluía definitivamente da ciência moderna. Pode-se, todavia, resumir essa questão seguindo alguns passos.

Inicialmente, ao se falar do estilo newtoniano e sua relação com as hipóteses, é importante perceber a posição epistemológica assumida pelo professor lucasiano: as hipóteses não incluem, bem como não possuem, qualquer princípio de uma teoria (ou mesmo leis). Dois motivos basais estão em discussão: um refere-se ao *status* das hipóteses, e o outro ao fato de que as hipóteses são mais gerais do que os princípios. O último ponto é uma questão relevante do método newtoniano e está, intimamente, ligado ao problema da análise e da síntese; esse fato considerável do método, também conhecido como problema da composição e da decomposição, é exposto de modo minucioso nas passagens mais metodológicas do *Óptica*, isto é, nas chamadas *Questões*.

Newton (1952, tradução nossa) evidencia essa problemática na *Questão 31* do *Óptica*:

> Assim como na matemática e também na filosofia natural, a investigação das coisas difíceis pelo método da análise deve necessariamente preceder o método da composição. Essa análise consiste em realizar experimentos e observações, além de, por meio da indução, executar esboços gerais e não dar margens para objeções contra as conclusões, a não ser que sejam retirados dos experimentos ou de outras verdades mais confiáveis.

Por essa razão, as hipóteses não poderiam ter lugar na filosofia experimental. De acordo com Newton (1952), mesmo que a argumentação extraída por meio da indução dos experimentos não possibilite uma conclusão geral, ela ainda assim seria a melhor e mais segura forma de se argumentar sobre a natureza das coisas. Com clareza, isso possuiria uma dependência direta com a generalidade da indução em questão, ou seja, quanto mais geral fosse a indução, maior e mais segura poderia ser a capacidade de argumentação. Dessarte, o método da análise seria: "[um] proceder dos compostos para os ingredientes, e dos movimentos para as forças que os produzem, e, em geral, dos efeitos para as causas, e das causas particulares para as mais gerais, até que o argumento termine no mais geral". (NEWTON, 1952, query 31, tradução nossa). A síntese, entretanto, pode ser definida como: "[um] ostentar a descoberta das causas e estabelecê-las como princípios, bem como, por essas conclusões, explicar os fenômenos provenientes delas, e comprovar explicações".

MacLaurin (2002), na qualidade de um dos seguidores do estilo newtoniano, não poupa defesas ao método newtoniano da análise e da síntese. Segundo ele, com base na observação e procedendo analiticamente, o professor lucasiano havia chegado à gravitação como um princípio geral e à descoberta das propriedades da luz; o mesmo autor também comenta que, por meio da síntese, Newton havia evidenciado muitos fenômenos curiosos, mas omite quais seriam estes. Da mesma forma, o matemático inglês afirma que, "enquanto demonstrava desse modo um grande número de verdades, ele não pôde deixar de se deparar com indícios de muitas outras coisas que sua sagacidade e sua observação e sagacidade lhe sugeriram". Assim, ele defende Newton por ter negligenciado essas observações e tê-las colocado *humildemente* nas chamadas *Questões* do *Óptica*.

Para Cohen (2002, p. 166-167), "o estudo cuidadoso, entretanto, mostra que o procedimento de Newton na filosofia natural experimental é exatamente o inverso"; a ação metodológica realmente empregada não era a mesma da análise e da síntese na matemática. Para compreender a totalidade do método newtoniano, deve-se procurar um plano mediador entre estudo das causas finais e metafísicas a fim de se buscar a elucidações matemáticas das suas ações.

> Newton gostaria que acreditássemos que eles mesmos seguiram esse roteiro; primeiro, revelar através da 'análise' alguns resultados simples que tivessem sido generalizados por indução, e assim proceder dos efeitos para as causas e das causas particulares para as gerais; depois, com base nessas causas tidas como princípios, explicar pela 'síntese' os fenômenos da observação ou da experiência passíveis de ser derivados ou deduzidos delas, 'demonstrando as explicações'.

Após essa ilustração da afinidade entre a hipótese e o problema da análise e da síntese, deve-se voltar um pouco da atenção para as explicações causais da gravidade.

Então, é interessante notar, de imediato, uma consequência importante da relação das hipóteses para com a causa final da gravidade na concepção de Newton. Isto é, caso a causa primeira da gravitação seja assumida como real e necessária, as hipóteses perderiam seu valor e se tornariam desnecessárias na filosofia experimental. Em outras palavras, quando Newton diz não simular hipóteses a respeito da causa da gravidade, enuncia consequentemente que a gravidade possui causas reais, e não metafísicas. Mesmo assim, (é verdade que) ele sugere várias explicações possíveis para a causa final da gravidade, mas Newton poderia, facilmente, defender-se, ao afirmar que tudo não passava de meras sugestões, como no caso das *Questões*, haja vista essas ficarem longe do corpo teórico das suas demonstrações.

No fundo, as hipóteses só poderiam ser aceitas na ciência newtoniana se dissessem respeito à experiência possível. De outro modo, todas as hipóteses de caráter essencialmente metafísico deveriam ser banidas da filosofia experimental. É perto desse sentido que as hipóteses são apresentadas como a explicação causal dos fenômenos. Assim, as hipóteses ficariam de um lado oposto ao das causas verdadeiras e reais dos fenômenos, as quais são de toda importância para explicar os acontecimentos naturais. Em favor da descrição dos fenômenos, percebe-se a renúncia das hipóteses como uma espécie de renúncia às explicações causais.

A função de Deus no cerne da doutrina newtoniana

É possível, no meio de tanto rigor proposto pelo professor de Cambridge (mesmo com seus problemas e dilemas), encontrar um ponto muito controverso no universo newtoniano: o papel de Deus. O mais interessante não é propriamente a convicção religiosa de Newton, mas a maneira como Deus (na visão dele) entrelaça-se com o próprio método e as explicações da causa final.

Newton, em uma de suas cartas para Bentley, admite que a causa da gravidade é fruto de um agente que atua por certas leis. No entanto dei-

xa ao critério dos leitores a compreensão de que esse agente possa ser imaterial ou material. Para o mesmo Bentley, ele afirma:

> A respeito da sua segunda questão, eu respondo que os movimentos que os planetas possuem agora não poderiam emergir de nenhuma causa sozinha, porém foram impressos por um agente inteligente. E, para comparar e ajustar todas essas coisas juntamente com uma variedade tão grande de corpos, deduz-se que a causa não é cega e fortuita, mas muito hábil em mecânica e geometria. (NEWTON, 1692, tradução nossa).

Seguindo o mesmo caminho, o *Escólio Geral* da segunda edição do *Principia* é muito conhecido por trazer uma relação entre Deus e o universo físico newtoniano.

> Esse ser governa todas as coisas, não como uma alma do mundo, mas como o senhor de tudo; e, por conta do seu domínio, ele é habitualmente chamado de senhor deus παντοκράτωρ [*Pantokrator*] ou legislador do universo, pois deus é uma palavra relativa e está ligado aos servos; e a divindade é o domínio de Deus (mas não sobre o seu próprio corpo, como aqueles imaginam fantasiando ser Deus a alma do mundo) sobre os seus servos. (NEWTON, 1934, p. 544, tradução nossa).

Aos olhos científicos de hoje, esse posicionamento de Newton pode parecer muitíssimo estranho. Contudo, filósofos naturais renomados, como Robert Boyle e John Ray, não eram conhecidos apenas por suas descobertas relevantes na Física e na Química, mas também por tentarem aproximar as descobertas da ciência moderna de uma possível demonstração da existência de Deus.

Newton e Leibniz firmaram uma das disputas mais acirradas e famosas da História da Ciência com relação às suas concepções teológicas. Essa célebre competição não serviu apenas para evidenciar como eles viam ou concebiam a ideia de Deus, senão para trazer à tona concepções fundamentais dos princípios metafísicos das teorias filosóficas de ambos. Esses mesmos princípios, de modo direto, serviam para mostrar como eles enxergavam o mundo físico.

De acordo com Kubrin (1967), o coração das censuras de Leibniz aos princípios básicos da ciência newtoniana girava em torno da afirmação de Newton a respeito da reforma necessária do sistema de mundo. O professor de Cambridge afirmara que o Sistema Solar deveria ainda prosseguir em seu estado fundamental por muitas e muitas eras, porém, no futuro, ele sofreria uma espécie de colapso devido à atração mútua dos planetas. Nesse ponto, Newton defende a postura de que, ao sofrer o colapso, o Sistema Solar precisaria de uma reforma.

Naturalmente, essa postura de Newton implicava uma ideia imperfeita do mundo, por consequência, Leibniz deduziu que essa posição gerava uma concepção imperfeita de Deus. Afinal de contas, ao construir o cosmo, o Criador não teria sido capaz de gerar um mundo duradouro sem sua pos-

terior intervenção. O filósofo alemão tinha em mente um Criador perfeito, um ser incapaz de criar um mundo que não fosse eterno, pois, do contrário, a intenção divina haveria de intervir continuamente para destruir o cosmos (KUBRIN, 1967). Newton, por sua vez, acreditava em um Deus governante, um inspetor contínuo, exatamente o oposto à concepção de Leibniz.

Afora a disputa dos dois filósofos, a Europa estava sofrendo vários confrontos, quer ideológicos, quer teológicos, no campo religioso, entre eles, o Cristianismo e o nascente Deísmo representavam uma luta de fundo muito intensa. Os cristãos acreditavam que a ordem natural era uma consequência direta dos desígnios de Deus. O Criador cristão teria planejado previamente toda a ordem natural; ele poderia eventualmente intervir na ordem de todas as coisas quando achasse necessário. O Deísmo também defendia a existência de Deus, porém, após a criação plena e ordenada do cosmos, o Deus deísta não haveria de interferir na dinâmica do mundo.

Além disso, o princípio da inércia, inicialmente desenvolvido no *De motu*, levara Newton a uma encruzilhada ontológica, o que, de modo indireto, poderia levar a consequências teológicas sérias. Segundo Cohen e Westfall (2002, p. 273), "esse princípio implica uma relatividade: a impossibilidade de determinar que qualquer sistema de referência inercial esteja em repouso". Newton estava consciente de que essa relatividade, "com a qual havia deparado na filosofia Descartes", poderia gerar uma concepção próxima ao ateísmo. "Ao abraçar o princípio da inércia, ele introduziu os conceitos de espaço e tempo absoluto, com a intenção de fazer deles baluartes contra o ateísmo".

Newton (1934, p. 6, tradução nossa) define o tempo do seguinte modo:

> O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com nada externo, e isso se chama duração. O tempo relativo, aparente e comum é uma medida sensível e externa (seja precisa, seja desigual) da duração por meio do movimento, o qual é comumente utilizado em lugar do tempo verdadeiro, assim como uma hora, um dia, um mês, um ano.

E, na sequência, o espaço desta maneira:

> O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com nada externo, permanece sempre similar e imóvel. O espaço relativo é uma dimensão móvel ou uma medida do espaço absoluto, que nossos sentidos determinam por meio de sua posição em relação aos corpos, e que é vulgarmente considerado como espaço imóvel; desse modo, é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição em relação à Terra. Os espaços absoluto e relativo são iguais em forma e magnitude, mas eles não se mantêm sempre numericamente iguais. Por exemplo, se a Terra se move, um espaço do nosso ar, o qual relativamente (e com relação) à Terra se mantém sempre o mesmo, em um dado momento será uma parte do espaço absoluto pelo qual passa o ar, e em outro uma parte desse mesmo espaço, e então, compreendido absolutamente, estará mudando perpetuamente.

O espaço, em Newton, é geralmente interpretado como uma medida absoluta (ou mesmo, uma entidade absoluta). Isso quer dizer que qualquer medida espacial no espaço relativo é uma função do espaço absoluto. Em outras palavras, o espaço absoluto é a base fundamental de toda e qualquer medida espacial. Nos *Escólios Gerais*, ele se refere ao espaço como algo constituído por Deus:

> A palavra Deus usualmente significa Senhor. [...] Ele é Eterno e Infinito, Onipotente e Onipresente; Sua duração provém do Eterno para o Eterno; Sua presença começa no Infinito e termina no Infinito; Ele governa todas as coisas, bem como sabe de todas as coisas que são e podem ser. Ele não está Eterna e Infinitamente, mas sim é o Eterno e o Inifinito; Ele não é a Duração e o Espaço, mas Ele persevera e é presente. Ele persevera para sempre, assim Ele sempre está presente; pela existência constante, Ele constitui Duração e Espaço. (NEWTON, 1934, p. 544-545, tradução nossa).

Onde quer que seja, o espaço e o tempo nada mais são do que parte da sensibilidade de tal divindade. No *Óptica*, ele se posiciona a esse respeito:

> Sendo tratadas essas coisas corretamente, não parece existir um ser incorpóreo a partir dos fenômenos, vivo, inteligente, onipresente, que, no espaço infinito – da mesma forma que o espaço seria o centro de suas sensações – vê as coisas intimamente em si mesmas, além de percebê-las em sua totalidade e as compreender inteiramente pela presença imediata delas diante de si? (NEWTON, 1952, Query 28, tradução nossa).

Não era ingênuo esperar que tal concepção de espaço pudesse gerar muitos inimigos. Os newtonianos enfrentaram muitas críticas de grandes pensadores, como Leibniz, Berkley e, mais posteriormente, Ernst Mach. Falando-se do contexto de desenvolvimento da física newtoniana, naturalmente Leibniz foi o mais relevante.

O filósofo alemão defendia uma posição muito conhecida: o espaço é uma relação, assim não é absoluto nem substancial. Para ele, o espaço é uma ordem relacional de um fenômeno, que, por consequência, é real, contudo, a relação é uma parte objetiva do espaço, ou seja, não é o real em si. Dessa forma, o espaço seria uma ordem das coexistências. Além disso, o tempo também seria um fenômeno[6]. Outra consequência da teoria de Leibniz a respeito do espaço é a de que não há espaço real fora do universo material.

A concepção de tempo em Newton também representa muitas consequências. Uma delas é a de que o tempo (absoluto) é independente de todas as coisas, isto é, durante a mudança *das coisas que são*, o tempo não se altera. Assim como na questão do espaço, o tempo é indiferente às coisas que sofrem mudanças. O tempo é visto como algo perfeito e

[6] O termo fenômeno aqui empregado por Leibniz vem do grego *phainestai*, significando aparecer. Dessa forma, fenômeno é tudo aquilo de que podemos ter consciência, de qualquer modo que seja.

homogêneo: as mudanças ocorrem em relação ao tempo uniforme que serve apenas como uma espécie de marco. A diferença ontológica entre o espaço e o tempo estaria no fato de que este flui e se move unidimensionalmente em uma só direção.

Aspectos cronológicos, como o antes e o depois, são somente uma relação com o tempo absoluto, que é prévio não apenas em relação às coisas, mas também a qualquer medida temporal. Leibniz, mais uma vez, posiciona-se de modo contrário a Newton, pois sua postura relacional de espaço e tempo era inteiramente compatível com a imensidade de Deus – o qual deveria ser independente do espaço – e a eternidade divina.

Naturalmente, um maior aprofundamento nas implicações teológicas concernentes às noções de espaço e tempo absolutos ou relativos podia se tornar mais ampla, contudo o importante é perceber como uma simples relação ontológica implicava, naquela época, fortes críticas no campo da crença cristã.

Segundo Westfall (2002, p. 436), Newton estava "convencido de que a ciência se harmonizava com a religião". No período de desenvolvimento da física newtoniana, a religião, a teologia e ciência caminhavam juntas por estrada muito estreita. Era praticamente impossível distinguir onde uma começava e a outra terminava. Como afirmou Koyré (1965, p. 21, tradução nossa), a ciência da renuncia das explicações causais "[...] implica uma razoável crença em Deus".

Uma prova significante disso está em uma das cartas que Newton trocou com Bentley.

> Quando eu escrevi o nosso sistema, eu tinha os olhos sobre os princípios com os quais pudesse trabalhar considerando a crença dos homens em uma divindade (e nada posso alegar senão que eu encontrei sucesso para esse propósito). (NEWTON, 1962, tradução nossa).

Não são poucas as passagens em seus textos nas quais Newton menciona a mão do Criador na condição de causa final ou, nos termos dele, a primeiríssima causa. John Locke, algumas vezes, referia-se a Newton como o maior conhecedor das escrituras sagradas. Nesse caminho, todos os historiadores admitem que Newton dedicou boa parte do seu tempo de professor lucasiano em estudos de fundo puramente religioso.

Barão de Keynes, um dos mais importantes economistas do último século, arrematou vários manuscritos alquímicos de Newton. Após estudá-los, escreveu um conhecido ensaio, *Newton, the man*, no qual se refere a ele da seguinte maneira:

> Por que eu o chamo de mágico? Porque ele analisava o Universo inteiro e tudo que ele abrange como um enigma, como um segredo que poderia ser lido aplicando o pensamento puro a certas evidências, certas chaves místicas que Deus pusera no mundo de modo a permitir uma espécie de caça ao tesouro pela irmandade esotérica. Ele acreditava que esses indícios poderiam ser encontrados, em

> certo grau, nas evidências celestes, assim como na constituição dos elementos (e é isso que dá a falsa sugestão de ele ter sido um filósofo natural), mas também, em parte, em alguns textos e tradições herdados da irmandade, numa corrente ininterrupta que remonta às revelações obscuras da Babilônia. Ele considerava o Universo como um criptograma feito pelo todo-poderoso – justamente como ele mesmo recobriu a descoberta do cálculo em um criptograma quando se comunicou com Leibniz. Pelo pensamento puro, pela concentração da mente, o enigma, ele acreditava, poderia se revelar aos iniciados. (KEYNES, 1956, tradução nossa).

Claro que, ao se olhar a filosofia natural dos tempos de Newton, comparando-a com a grande e complexa estrutura da ciência contemporânea, tudo parece muitíssimo místico. O professor lucasiano não era, todavia, um mago escondido por trás de uma toga e de criativas metáforas. Newton era, antes de tudo, um homem muitíssimo culto e conhecedor das consequências verdadeiras de que o simples estudo das causas gerava intimamente influências teológicas.

Isso justifica a verdadeira importância de se compreender o estudo das causas, quer por meio da omissão de suas explicações, quer por meio das possibilidades de seu conhecimento. O estudo das causas e suas relações metafísicas não geravam apenas consequências para a nova ciência como também para quase todas as áreas de estudo da era moderna.

Hipótese e papel de Deus na Doutrina Newtoniana: reflexões e implicações ao Ensino de Física e à Formação Científica

Existem, sobre os trabalhos de Newton, bem como sua vida pessoal e acadêmica, muitas caricaturas inadequadas e, por vezes, fantasiosas, propagadas por livros, manuais e professores nos mais variados níveis de ensino. Essas disseminações levam alunos e docentes a várias associações ingênuas e a bastante equívocos sobre a vida intelectual de Newton, especialmente, a respeito do período de desenvolvimento da física newtoniana.

A falta de divulgação crítica dos trabalhos newtonianos acaba por gerar grande relativismo e mesmo fantasias. Talvez, quem mais sofra com as consequências desses dualismos interpretativos seja o Ensino de Ciências e, por implicação, a própria formação científica. Afinal, os resultados da física newtoniana ainda são tidos como um exemplo rígido e bem estruturado de ciência, assim como fazem parte integral (mesmo nos dias atuais) da formação de cientistas em seu início de carreira.

Exceto para os físicos e os conhecedores da física contemporânea, a máquina universal de Newton continua sendo uma imagem exata do Universo. Nas palavras de Alexandre Koyré (1965, p. 4, tradução nossa), "[...] isso porque, por mais de dois séculos, [a máquina universal newtoniana] tem sido o credo comum, a communis opinio, da ciência moderna e dos homens cultos". Quanto aos professores e cientistas em formação,

os estudos acerca do universo newtoniano fazem parte fundamental de sua formação científica, apesar de ignorarem completamente os aspectos metodológicos desenvolvidos pelo filósofo de Woolsthorpe. Não é, igualmente, exagero dizer que a física newtoniana continua (ainda que descontextualizada) a ser adotada como um exemplo de ciência na própria formação científica. Parece lógico admitir que, se assim não o fosse, ela não seria densamente ensinada nas academias na qualidade de núcleo da instrução universitária (e, a exemplo das ciências aristotélicas, seria discutida exclusivamente nas classes de filosofia). O aceite da física newtoniana não é restrito à formação científica, pois filósofos e estudiosos da ciência continuam a usar o período do professor lucasiano na condição de um rico e central modelo histórico da atividade científica.

Sabe-se que muitas das concepções sobre a física newtoniana não provêm de textos originais, mas sim das ideias dos seguidores e filósofos posteriores a Newton, esses últimos, às vezes, acabam por se aproveitar dos problemas metodológicos dos trabalhos de Newton para justificar suas concepções e idiossincrasias, sendo o caso, por exemplo, de pensadores contemporâneos como Koyré e Drake. Os estudos de Koyré sobre os trabalhos newtonianos não se distanciam em nada da própria disputa no âmbito da teoria do conhecimento (e do próprio método) entre racionalistas e empiristas; pois, como bem lembra Abrantes (1998, p. 69), "racionalistas (como A. Koyré) ou empiristas (como S. Drake) esforçaram-se para encontrar evidências históricas que favorecessem suas respectivas posições filosóficas". Isso que também se relaciona com o fato de o brilhante filósofo natural de Woolsthorpe não ter sido um filósofo no sentido hoje dado a essa palavra. Newton não formulou um sistema ontológico, nem desenvolveu uma nova teoria da Ética ou da Estética, nem estruturou uma teoria epistemológica completa. A verdade, igualmente, encontrava-se no fato de a ciência experimental de Newton carecer de um apoio lógico, ontológico e epistemológico. A base experimental desenvolvida pelo professor lucasiano não ganhou a notoriedade e a autoridade esperadas por Newton ao longo de sua carreira. Em resumo, os homens da nova ciência não eram ingênuos a ponto de ficarem impressionados com algumas verificações experimentais de uma dada teoria.

Esses problemas epistemológicos das obras de Newton são até hoje um campo de batalha sobre discussões filosóficas no que se refere a suas obras. Isso por si já mostra a riqueza contextual desse período da História da Ciência.

Não são poucos os autores e pesquisadores nas áreas correlatas à Educação Científica e Tecnologia, em especial ao Ensino de Física, Química e Biologia, que nas três últimas décadas destacaram a importância de uma formação e ensino científicos mais contextualizados e reflexivos quanto às consequências epistemológicas e históricas das ciências, des-

tacando as dificuldades metodológicas, sociais e pessoais na elaboração das teorias científicas.[7]

Seguindo esse caminho, sabe-se que toda a História da Ciência é rica em exemplos para contextualizações, problematizações e possibilidade de usos no Ensino de Ciências. O período de desenvolvimento da física de Newton, porém, talvez seja um dos exemplos mais fortes e ricos para isso. Não há na apresentação contextualizada desse período da ciência o gênio da queda da maçã, mas sim um pesquisador da natureza, extremamente, inserido nos desenvolvimentos filosóficos de sua época e preocupado com justificativas ligadas a suas filiações filosóficas e, acima de tudo, um filósofo muito preocupado com seu reconhecimento pessoal.

Além disso, a contextualização do desenvolvimento dos trabalhos de Newton – passando desde seus predecessores na filosofia natural até seus seguidores diretos – pode servir como contraponto às concepções e opiniões problemáticas a respeito do fazer e do conhecimento científico (AURINO DA SILVA, 2009). Eis um ponto de grande importância para a formação e ensino científico, uma vez que a relação entre os aspectos metodológicos defendidos por Newton, principalmente as múltiplas variações nas terminologias das hipóteses, e sua conturbada relação com o papel de Deus na doutrina e no estilo newtoniano mostram claras oposições a concepções ingênuas a respeito do desenvolvimento teórico e metodológico dos tempos de Galileu e Newton.

Como se procurou mostrar neste trabalho, para se compreender o papel de Deus na doutrina de Newton, é fundamental conhecer qual a necessidade dessa entidade para com a metodologia newtoniana e vice-versa. Aqui surge uma importante ferramenta contra concepções simplistas e ingênuas, como a empírico-indutivista e ateórica e a visão rígida (exata, infalível, algorítmica...). Nas próprias palavras de Gil-Pérez et al. (2001, p. 130): "uma segunda deformação amplamente identificada na literatura [...] é a que transmite uma visão rígida (algorítmica, exata, infalível,...)". Essas concepções destacam o papel neutro da observação e da experimentação (não influenciadas por ideias apriorísticas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo. (GIL-PÉREZ et al., 2001; FERNÁNDEZ, 2002).

A importância da teologia por si para o desenvolvimento da filosofia natural nos tempos de Newton já poderia ser uma ferramenta irrefutável contra essa séria de concepções simplistas do método. Robert Boyle e John Ray, duas figuras importantíssimas dentre as influências de Newton, não eram apenas grandes filósofos e cientistas, mas também eram, igual-

[7] (CAMPANARIO, 1999; GUSTAFSON; ROWELL, 1995; PRAIA; CACHAPUZ, 1994; SANDOVAL et al., 1995; THOMAZ, 1996; FERNANDEZ; ESCANDELL, 1986; GIL-PÉREZ, 1986; PETRUCCI et al., 2001; PARUELO, 2003). Quanto àqueles que se referem também ou mais diretamente à própria formação científica, há estes: (MENGASCINI et al., 2004; MANASSERO; VÁZQUES, 2001; GIL-PÉREZ et al., 2001; FERNÁNDEZ et al., 2002; THOMAZ et al., 1996; NISSANI, 1995; MOREIRA; OSTERMANN, 1993; SANDOVAL et al., 1995; CLEMINSON, 1990; STINNER, 1992; POMEROY, 1993; KLOULAIDIS, OGBORN, 1995, entre tantos outros).

mente, teólogos de grande prestígio. Seguindo esse mesmo caminho, Newton também, repetidas vezes, como mostrado nas seções anteriores, abriu mão da sua *rigidez* metodológica para, de modo aberto, justificar as causas finais como atributos do Deus judaico-cristão (NEWTON, 1934, book III).

Contra as concepções que se baseiam no operacionalismo mecânico do método, tem-se o exemplo dado por um dos seguidores mais importantes de Newton: Maclaurin. Ele continuamente propagou o *hypotheses non fingo* como um dos alicerces da Física e, principalmente, do método newtoniano de fazer ciência, excluindo importantes traços do estilo newtoniano, como o papel de Deus no universo físico, conforme mencionado anteriormente. Esses últimos traços, sem dúvida, não demonstram a rigidez metodológica proposta pelo filósofo de Woolsthorpe, senão fazem parte de meras conjecturas de fundo puramente teológico e dogmático.

Para terminar, é espontâneo perceber o nível relativamente alto de certas discussões de cunho epistemológico e ontológico na relação entre as hipóteses e o papel de Deus na doutrina newtoniana. Assim, uma possível aplicação no ensino dependerá, antes de tudo, de algumas variáveis. Essas estão correlacionadas com a atual realidade dos cursos de formação científica, haja vista os alunos não estarem habituados a leituras filosóficas a respeito da ciência.

Mais do que conhecer a História e a Filosofia da Ciência como enriquecimento cultural e filosófico, discussões desse tipo podem auxiliar em formas diferenciadas e mais adequadas na compreensão dos conceitos físicos. Tal posicionamento justificaria a inserção desses debates filosóficos desde o início dos cursos, no entanto isso demandaria toda uma reformulação estrutural dos atuais currículos. Afinal, não se poderiam trazer à tona discussões filosóficas sobre a ciência utilizando os livros-textos tradicionais como referência. Mais profundamente, seria de todo inviável que disciplinas com essa nova roupagem ou preocupação fossem ministradas por quem não teve uma formação específica mínima que abordasse temas desse tipo (MARTINS, 2006).

Referênciais

ABRANTES, P. *Imagens de natureza, imagens de ciência*. Campinas, SP: Papirus, 1998.

ANGIONI, L. Notas. In: ARISTÓTELES. *Segundos analíticos*. Tradução, introdução e notas de Lucas Angioni. Campinas, SP: IFHC/Unicamp, 2004. Livro I.

ANGIONI, L. Comentários e notas. In: ARISTÓTELES. *Física I e II*. Tradução e comentários de Lucas Angioni. Campinas, SP: IFHC/Unicamp, 2009. (No prelo).

ARISTÓTELES. *Metafísica*. Edição trilíngue por Valentin Garcia Yebra. Madrid: Gredos, 1970. 2 v.

ARISTÓTELES. *Acerca del alma*. Traducción y notas de Tomás Calvo Martínez. Madrid: Gredos, 1978.

ARISTÓTELES. *Física*. Tradução e notas de Guillermo R. de Echandía. Madrid: Gredos, 1995.

ARISTÓTELES. *Segundos analíticos*. Tradução, introdução e notas de Lucas Angioni. Campinas, SP: IFHC/Unicamp, 2004. Livro I.

ARISTÓTELES. *Física I e II*. Tradução e comentários de Lucas Angioni. Campinas, SP: IFHC/Unicamp, 2009. No prelo.

AURINO DA SILVA, D. *Aspectos epistemológicos da física newtoniana na formação científica*. 2009. Dissertação. (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica, área História e Filosofia da Ciência) – Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CAMPANARIO, J. La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 397-410, 1999.

CASSIRER, E. Newton and Leibniz. The philosophical review, v. 52, n. 4, p. 366-391, jul. 1943. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2180670>. Acesso em: 21 maio 2010.

CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science

and of how children learn science. *Journal of research in science teaching*, Maryland, v. 27, n. 5, p. 429- 445, 1990.

COHEN, B.; WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto, Ed. UERJ, 2002.

DESCARTES, R. Discurso do método. In: *DESCARTES*. São Paulo: Nova Cultural, 1999. (Coleção Os Pensadores).

FERNÁNDEZ, I. et al. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas per la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002.

GIL-PÉREZ, D. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de la ciencia. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 1, n. 1, p. 26-33, 1983.

GIL-PÉREZ, D. La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 4, n. 2, p. 11-121, 1986.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & educação*, Bauru, SP, v. 7, n. 2, 2001.

GUSTAFSON, J.; ROWELL. P. Elementary preservice teachers constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature oficience. *International journal of science education*, London, v. 17, p. 589-605, 1995.

HALL, A.; HALL, M. Newton e a teoria da matéria. In: COHEN, B.; WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. UERJ, 2002. p. 100-118.

KEYNES, J. M. Newton the man. In: NEWMAN, J. R. (Ed.).*The world of mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1956. v. 1.

KLOULAIDIS, V.; OGBORN, J. Science teacher philosophical assumptions: How well do we understand them? *International journal science education*, London, v. 17, n. 3, p. 273-283, 1995.

KOYRÉ, A. *Newtonian studies*. Chicago: The University of Chicago Press, 1965.

KUBRIN, D. Newton and the cyclical cosmos: providence and the mechanical philosophy. *Journal of the history of ideas*, Philadelphia, PA, v. 28, n. 3, p. 325-346, Jul.-Sep., 1967.

MACLAURIN, C. An account of Sir Isaac Newton's philosophical discoveries. In: COHEN, B.; WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. UERJ, 2002. p. 159-163, 333-341.

MANASSERO, M.; VAZQUEZ, A. Actitudes de estudiantes y profesorado sobre las características de los científicos. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 255-259, 2001.

MARTINS, R. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. (Org.). *Estudos de história e filosofia da ciência:* subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MENGASCINI, A. et al. Las imágines de ciencia y de científico de estudiantes de carretas científicas. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 22, n. 1, p. 65-78, 2004.

MOREIRA, M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. *Caderno catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.

NEWTON, I. A letter of Mr. **Isaac Newton**, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge. Carta. *Philosophical transaction of the Royal Society*, London, n. 80, p. 3075-3087, 1672. Disponível em: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>. Acesso em: 03 fev. 2009.

NEWTON, I. *An hypothesis explaining the properties of light*: discoursed of in my several papers. 1675. Disponível em: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>. Acesso em: 08 fev. 2009.

NEWTON, I. Mr **Newton's** Answer to the precedent Letter. *Philosophical transaction of the Royal Society*, London, n. 128, p. 698-705, 1676. Disponível em: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>. Acesso em: 03 fev. 2009.

NEWTON, I. *Original letter from Isaac Newton to Richard Bentley*. Cambridge: Trinity College Library, 1692. Carta. Disponível em: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>. Acesso em: 03 fev. 2009.

NEWTON, I. *A theory concerning light and colors*. Cambridge: Cambridge University Library, [167-]. Carta. Disponível em: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>. Acesso em: 03 fev. 2009.

NEWTON, I. An account of the book entituled commercium epistolicum collinii et aliorum, de analysi promota. *Philosophical transaction of the Royal Society of London*, London, n. 342, p. 173-224, [171-].

NEWTON, I. *Mathematical principles of natural philosophy and system of the world.* Tradução de Andrew Motte. Berkeley: University of California Press, 1934.

NEWTON, I. *Opticks or a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light.* New York: Dover, 1952.

NEWTON, I. Questiones quaedam philosophicae. In: COHEN, B.; WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. UERJ, 2002. p. 22-30.

NISSANI, M. The plight of the obscure innovator in science. *Social Studies of science*, Oxford, v. 25, p. 165-183, 1995.

PARUELO, J. Enseñanza de las ciencias y filosofía. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 21, n. 2, p. 339-335, 2003.

PETRUCCI, D. et al. Imagen de la ciencia en alumnos universitarios: una revisión y resultados. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 19, n. 2, p. 217-229, 2001.

PLATÃO. *A República*. Introdução e notas de Robert Baccou e tradução de J. Guinsburg. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1965. 2 v.

POMEROY, D. Implications of teachers' beliefs about the nature of science: comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, New York, v. 77, n. 3, p. 261-278, 1993.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, F. Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, n. 12, p. 350-354, 1994.

SANDOVAL, J. et al. Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 17, n. 1, 1995.

SCHAFFER, S. Trabalhos com prismas. In: COHEN, B.; WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. UERJ, 2002. p. 250-269.

SHAPIRO, A. Experimentação e matemática na teoria da cor. In: COHEN, B.; STINNER, A. Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, New York, v. 76, n. 1, p. 1-16, 1992.

THOMAZ, M. et al. Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de las ciencias*, Barcelona, v. 14, n. 3, p. 315-322, 1996.

WESTFALL, R. *Newton*: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. UERJ, 2002. p. 489-497.

A CONSTRUÇÃO HISTÓRICA E O ENSINO DO CONCEITO DE SUBSTÂNCIA: IMPLICAÇÕES DOS DIFERENTES ESTILOS DE PENSAMENTO PARA A QUÍMICA

CAPÍTULO 13

Marcelo Lambach
Carlos Alberto Marques

O conceito de substância no Ensino de Química

É muito comum encontrar, em vários trabalhos que discutem como acontece o Ensino de Química no Ensino Médio, análises descrevendo que os livros didáticos utilizados nas escolas iniciam seus trabalhos apresentando *o que é a Química*. Acrescentando que esses argumentam ser essa uma ciência que estuda "a matéria suas propriedades, sua composição e transformações" (ARAUJO, SILVA, TUNES, 1995; ROCHA-FILHO, 1988; ROMANELLI, 2006; SILVA, AGUIAR, 2008; SILVEIRA, 2003; TAVARES, 2009), todavia é também comum localizar em muitos desses materiais didáticos a substituição do termo *matéria* por *substância*, sem que se explique o sentido ou significado de uma e de outra.

Na História da Química, como salientada por Maars (1999), essa palavra só aparece na definição da ciência Química no século XX com Linus Pauling. Portanto, as ideias que levaram à construção (histórica) do conceito de substância não são desenvolvidas em tais materiais, de modo que o seu conceito é estruturado tomando-se uma *percepção* sensorial a partir do nível microscópico da matéria, como se fosse algo já entendido e acabado.

O conceito de substância pode ser considerado um dos pilares da Química, uma vez que, a partir dele, é possível compreender outros conceitos fundamentais como elemento químico, Tabela Periódica, transformações químicas, ligações químicas etc. Silveira destaca que

> [...] elemento químico pode estar associado à classificação de substâncias simples – seja quando esta não for mais decomponível em outros elementos (uma concepção macroscópica), ou quando for formada por um conjunto de átomos com mesmo número atômico (dependerá da abordagem realizada pelo professor). Por outro lado, uma transformação química será sempre caracterizada pela formação de novas substâncias, seja pela verificação das evidências destas transformações, ou seja, mudança de cor, formação de gases, formação de precipitados, liberação de odores, etc., ou pela constatação das propriedades específicas desta nova substância, como: ponto de ebulição, ponto de fusão, densidade, entre outras. (SILVEIRA, 2003, p. 80-81).

Considerando a importância desse conceito para o aprendizado da Química, argumenta-se a favor de uma pedagogia que resgate aspectos histórico-filosóficos do processo de emersão desse conceito no âmbito da ciência, em diálogo com os saberes que os alunos detêm sobre o significado e uso da palavra *substância*. Principalmente, porque não cabe mais imaginar que o conhecimento a ser adquirido na escola "começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto" (BACHELARD, 1996, p. 23).

Assim, o objetivo desse artigo é apresentar aspectos mais significativos de como o conceito de substância foi se constituindo e sendo modificado em determinados momentos da História da Ciência, referenciando-se, para tanto, na visão epistemológica de Gaston Bachelard, cuja matriz filosófica de cunho interpretativo é fundamentalmente histórica.

Para ele, o conhecimento científico é visto como um processo evolutivo, com um desenvolvimento marcado por rupturas em relação ao que antes se julgava conhecido (BACHELARD, 1977; LOPES, 1996), cuja superação é dificultada por obstáculos que se originam "no próprio ato de conhecer [...], por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos". (BACHELARD, 1996, p. 17). Aspectos que têm implicações especialmente na esfera da ação pedagógica, uma vez que "o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização". (BACHELARD, 1996, p. 17).

Por outro lado, visando a compreender como as ideias e os distintos entendimentos do que seja *substância*, de como essas idéias constituíram-se/constituem-se e disseminaram-se/disseminam-se no decorrer do tempo, será utilizada a concepção epistemológica de Ludwik Fleck, em especial a categoria Estilo de Pensamento (EP). Considerando, ainda, que sua epistemologia possui um grande potencial pedagógico para a análise e compreensão sobre os entendimentos de alunos e de professores de Química do Ensino Médio em torno desse conceito (substância), algumas situações de ensino serão problematizadas a partir da perspectiva pedagógica de Paulo Freire.

Os princípios epistemológicos de Bachelard e a constituição histórica do conceito de substância

A epistemologia de Bachelard pode ser considerada, do ponto de vista da essência do Conhecimento, sendo Realista, Crítica quanto a sua possibilidade e quanto à sua gênese como sendo Racionalista Aplicado e Materialista Racional.

Posicionando-se claramente quanto a não neutralidade do conhecimento, Bachelard diz que

> [...] o real jamais é 'o que se poderia crer', mas é sempre o que se deveria ter pensado. O pensamento empírico é claro, depois, quando o aparelho das razões foi atualizado. Retornando a um passado de erros, encontramos a verdade num autêntico arrependimento intelectual. (BACHELARD, 1977, p. 147).

Não empirista, o epistemólogo alerta que o conhecimento científico parte da formulação de perguntas para resolver problemas, sendo o conhecimento uma resposta a tal questão, pois "se não houve questão, não pode haver conhecimento científico. Nada ocorre por si mesmo. Nada é dado. Tudo é construído". (BACHELARD, 1977, p. 148).

Tendo esses pressupostos em mente, ele constrói o conceito de Obstáculo Epistemológico, afirmando que sempre devemos olhar os erros cometidos no passado para entendermos o presente, pois "só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual". (BACHELARD, 1977, p. 149).

Para Bachelard, então,

> Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, chega-se logo a essa convicção de que *é em termos de obstáculos que se torna preciso apresentar o problema do conhecimento científico*. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no próprio ato de conhecer, intimamente, que aparecem, por uma espécie de imperiosidade funcional, as lentidões e as dificuldades. Aí é que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, aí é que discerniremos causas de inércia que chamaremos de obstáculos epistemológicos. (BACHELARD, 1977, p. 147, grifos do autor).

Assim, os Obstáculos Epistemológicos são para Bachelard pontos em que o progresso científico para e até retrocede. E um desses obstáculos mais difíceis de ser superados é o substancialista, destacando que

> Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico condensa num objeto todos os conhecimentos em que esse objeto desempenha um papel, sem se preocupar com a hierarquia dos papéis empíricos. Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta. (BACHELARD, 1996, p. 121).

A substância, assim, é entendida e confundida com suas propriedades, de modo que o *Obstáculo Substancialista* impede a percepção de que as propriedades das substâncias, por exemplo, resultam da interação entre elas ou entre ela e alguma energia; como o caso da cor amarela do ouro

e a força dos ácidos relacionada à quantidade de hidrogênio protônico (LOPES, 1993, p. 323).

Para Bachelard, a concepção substancialista geralmente se relaciona à ideia que determinada qualidade deve estar contida em algo. Assim, "para o espírito pré-científico, a substância tem um interior; ou melhor, a substância é um interior" (BACHELARD, 2003, p. 107).

Localizando o período anterior a Lavoisier, ou seja, até o final do século XVIII, repleto de situações em que se buscava identificar o âmago substancial da matéria – uma ideia que se estendeu para o período pós-lavosieriano –, Bachelard mostra que substancialização obstaculiza o pensamento do pesquisador. E, utilizando o exemplo de um corpo leve que se prende a outro eletrizado, Bachelard destaca que o

> [...] fenômeno imediato será tomado como sinal de uma propriedade substancial: toda busca científica logo será interrompida; a resposta substancialista abafa todas as perguntas. É assim que se atribui ao fluido elétrico a qualidade 'viscosa, untuosa, tenaz'. Priestley diz: *A teoria de Boyle sobre a atração elétrica era que o corpo Elétrico lançava uma emanação viscosa que ia apanhando pequenos corpos pelo caminho e os trazia com ela, ao voltar ao corpo de onde tinha saído.*
>
> Como esses raios que vão buscar os objetos, raios que fazem ida e volta, são, claramente, adjunções parasitas, percebe-se que a imagem inicial equivale a considerar o bastão de âmbar eletrizado como um dedo lambuzado de cola. Se essa metáfora não fosse interiorizada, o mal não seria tão grande; sempre é possível afirmar que ela não passa de um meio de traduzir, de expressar o fenômeno. Mas, no fundo, não se limita a descrever com uma palavra; quer explicar por meio de um pensamento. Pensa-se como se vê, pensa-se o que se vê: a poeira gruda na parede eletrizada, logo, a eletricidade é uma cola, um visco. (BACHELARD, 1996, p. 128, grifos do autor).

Assim, na sequência, será apresentado como o conceito de substância foi, historicamente, desenvolvendo-se, evidenciando como as ideias inicialmente formuladas mantiveram-se como acertadas, caracterizando-se como obstáculos epistemológicos, até se tornarem erros epistemológicos ao serem relidas sob outro olhar, a partir de outras ideias ou, como indicará Fleck, sob um novo Estilo de Pensamento (EP).

O conceito de substância: dos gregos aos árabes no século XIII

A construção do conceito de substância tem relação direta com o entendimento do que seja matéria. Pode-se dizer que a busca da humanidade pelo conhecimento sobre a constituição dos materiais, dos objetos que nos rodeiam, para além do que se possa observar a olho desprovido de equipamentos de aumento, remonta aos gregos.

Desde aquela época, é possível identificar a busca de leis gerais que descreviam a natureza e explicavam os fenômenos de forma unitária. Em

uma proposição eminentemente racionalista, os pré-socráticos apresentaram uma cosmologia universal, essencialmente, vitalista e materialista. Por exemplo, a visão de Heráclito pela qual o "fogo, existente no interior das coisas e causa do seu constante movimento, explica a eterna mudança, a união o vir a ser do inferior, tornando-se as futuras teorias de rarefação e condensação". (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 50). Ou, ainda, a visão de Tales de Mileto, para quem a água era a substância primordial da qual derivavam todas as coisas (a condensação da água formava a terra e a sua rarefação gerava o ar e o fogo). Semelhante defesa era feita por Anaxímenes, sendo que para ele era da condensação ou da rarefação do Ar infinito (o *pneuma apeiron*) que se formavam todas as coisas.

Essa concepção cosmológica materialista dos pré-socráticos acaba se mostrando problemática, pois os elementos usados como *matéria primordial* chegam a ocupar "todo o universo real: até os sonhos, os sentimentos e os pensamentos são materializados", como apontou Alfonso-Goldfarb (2005, p. 50). Contrário a esse pensamento racionalista, com visão extremamente materializada do mundo, Parmênides adota o postulado da realidade imaginária, "no qual o movimento seria mera ilusão, já que a impossibilidade do vazio destituía de sentido o movimento real". Assim, "o vazio ganha caráter de impossibilidade ontológica, pois, se o todo é tudo, o nada não pode existir" (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 50).

Com tal problema instaurado, a compreensão filosófica grega sobre a cosmologia segue outros caminhos: a dos sofistas, que por meio de sua lógica defendem a realidade como um todo; e de outros pensadores que propõem novas hipóteses. Dentre os últimos, encontra-se Empédocles, o qual defende que em toda a matéria existem, em diferentes proporções, quatro elementos: água, terra, fogo e ar. Ele também representa, segundo Maars (1999, p. 34), o marco inicial de uma das mais longas discussões da história da Química, que perdurou até o século XX, expressa em uma pergunta: o que mantém unido ou separado os componentes de uma substância?

Para Empédocles, os quatro elementos combinavam-se ou separavam-se pela ação de duas *forças* universais: o amor e o ódio. Esses quatro elementos convertem-se, para o filósofo Anaxágoras, em uma infinidade de elementos qualitativamente diferentes e imutáveis que são como as *sementes* de todas as coisas. Para ele, essas sementes combinam-se por meio do *Nous* (mente, inteligência) que tem função de por em ação a massa inerte dos elementos e ordenar o conjunto do universo. Tal entendimento denota – segundo Alfonso-Goldfarb (2005) – a inserção de um elemento dualista à cosmologia, com a concepção de uma mente superior, supranatural, diferente da doutrina grega de então, em que a realidade se reduz a um princípio único com unidade das forças da natureza.

Outro caminho para resolver o paradoxo materialista foi a formulação de uma cosmologia estruturada em entidades reais, mas não materiais,

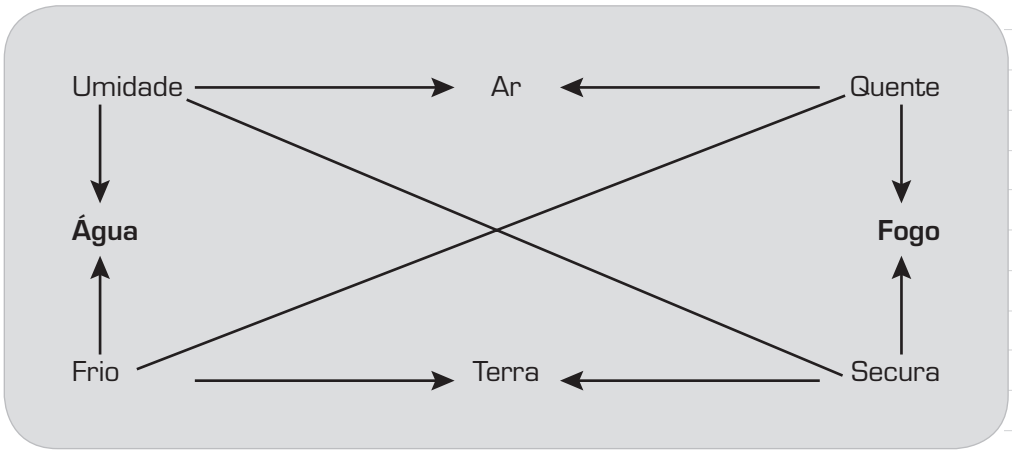
evidenciada no atomismo de Leucipo e Demócrito, para os quais os átomos eram

> [...] minúsculas e infinitas [...] entidades imateriais que, movendo-se no vácuo por 'necessidade' mas ao acaso, associavam-se formando a realidade, tanto material *como* imaterial. Estes átomos seriam infinitos também na forma, o que possibilitaria a variedade de coisas do mundo. Os átomos do fogo e os do pensamento, por exemplo, deveriam ser esféricos, porque esta forma propiciaria o movimento típico dos fenômenos velozes. (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 51).

Como o pensamento dos atomistas gregos não aceitava a ideia do vazio, ou seja, do vácuo, essa proposta atomística não assume papel relevante. Aristóteles critica essa teoria logicamente e por seus fins (teleologicamente), pois o lugar natural das coisas não admitia o vácuo e o acaso. Ele assume, então, a teoria dos quatro elementos, resolvendo o problema do vácuo com a introdução de um quinto elemento, isto é, o éter, chamado de a *quintessência*. Segundo Oki (2002), esse é apresentado por Aristóteles em sua obra *Sobre o céu*, nos estudos sobre o mundo sideral e sublunar, com esse último elemento caracterizado como sendo "o princípio formador de todos os corpos existentes no mundo supralunar, ou seja, a parte do Universo que se inicia com a Lua". (OKI, 2002, p. 22).

Aristóteles caracteriza, então, cada elemento por duas qualidades, conforme o Esquema 1, a seguir, formulado por Maars (1999, p. 34).

Esquema 1 – Os quatro elementos da Antiguidade grega e suas qualidades



Fonte: Maars (1999, p.34).

Esses pares de qualidades relacionavam-se com cada elemento da seguinte forma: para o fogo material – quente e seco; para a água material – frio e úmido; e assim por diante. Então, se para Aristóteles o elemento era "um dos corpos em que os demais corpos podem ser decompostos e que ele próprio não pode ser dividido em outros" (MAARS, 1999, p. 35), é possível concluir que substituindo uma qualidade por sua antagônica

um elemento se converte em outro. Por exemplo, no par frio/secura, ao substituir a secura por umidade a Terra se transforma em Água. A concepção aristotélica, da transmutação dos elementos, irá se constituir em uma das grandes influências no pensamento alquímico.

Pelo descrito até aqui, é possível considerar que a alquimia nasce sob os auspícios do pensamento grego, porém é preciso questionar: que outras influências ela recebe? De que forma as ideias alquímicas se estendem ao longo da história?

A visão alquímica do mundo nasce, então, segundo Alfonso-Goldfarb (2005) contendo elementos da cosmologia grega utilizados para teorizar as práticas místicas e mágicas, não religiosas, transformando-as em práticas alquímicas de laboratório.

Com esse objetivo, é possível localizar na figura de Zózimo (III a IV d.C.), por exemplo, a tentativa de construir um corpo alquímico, um trabalho de investigação da matéria. Ele relata que por meio de um sonho, concluiu que é por meio da *tortura* da matéria que se consegue sua transformação separando-lhe sua pura essência, o seu espírito. Com isso, a metalinidade é uma propriedade que não depende de sua matéria, mas das qualidades que ela assumir. Esse processo se iniciaria, como relata Alfonso-Goldfarb, da *matéria morta* (chumbo, estanho, cobre, ferro e ligas ou sulfetos desses metais). Essa matéria, sem suas qualidades originais, sofreria o processo de "renascimento" recebendo as qualidades da prata estando pronta para sua transmutação em ouro, ou para "receber a essência ou espírito" aurífero, chamado em alguns casos de "pedra filosofal", ou, mais tarde, no mundo árabe, de "elixir" (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 61).

Zózimo tenta teorizar os trabalhos de outros alquimistas que acabam por influenciar seus pensamentos. Com ele é possível identificar, segundo Alfonso-Goldfarb, a "reconciliação dos alquimistas da teoria com a prática" (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 63), ao aproximar as substâncias alquímicas aos *agentes* aristotélicos (mercúrio, enxofre, arsênico), assim como os *espíritos* ao *pneuma* dos estóicos. Depois de Zózimo, a alquimia assume um caráter doutrinário e místico, sendo que seus representantes alexandrinos passam a ser vistos como *autoridades máximas e irrefutáveis*, ou seja, dogmáticos, sob o ponto de vista da possibilidade do conhecimento (HESSEN, 1999), pois acreditam na possibilidade de se conhecer a verdade, sem justificar por razões intrínsecas, mas recorrendo apenas ao princípio da autoridade.

A alquimia só volta a ter caráter investigativo, com o objetivo de *desvendar os mistérios da matéria* com o desenvolvimento da cultura árabe, entretanto, Ana Maria Alfonso-Goldfarb, destaca a importância da cultura chinesa na História da Ciência. Ela aponta que elementos da civilização chinesa antiga são incorporados, em certa medida, pela cultura árabe como o conceito de equilíbrio estruturado a partir da filosofia taoísta.

Para os chineses, tal equilíbrio pode ser obtido com a utilização de um *elixir* que transportava as qualidades de um corpo a outro. A autora des-

taca, ainda, que a cultura chinesa não chega a se organizar como ciência moderna devido a problemas de caráter sociopolíticos, como a estrutura burocrática centralizada de um estado controlador que não promovia a busca de "elementos da natureza materializáveis, reproduzíveis e próprios à aceleração do ritmo da sociedade". (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 69).

Diferente da fechada estrutura social chinesa e com a queda acentuada do intransigente império romano, progride e ganha espaço rapidamente a cultura islâmica que recebe influências de diversas outras como a persa, egípcia, mesopotâmica, além de resquícios da cultura greco-romana.

Uma das formas de apropriação de elementos de diferentes culturas foi a tolerância religiosa, diferente das outras culturas já citadas, por permitir que povos não maometanos vivessem nas fronteiras de suas cidades, mediante o pagamento de taxas, o que atraiu grupos e seitas que fugiam das perseguições medievais, tanto ocidentais como orientais.

Como observa Alfonso-Goldfarb,

> Muitos se converterão à nova fé visando o não-pagamento de impostos e a possibilidade de alcançar altos postos na escala do poder, reservados aos maometanos. Outros preservarão sua Fé, mas, incentivados pela benevolência dos mandantes, manterão vínculos de cooperação com estes, ensinando-lhes os segredos práticos de suas artes ou oferecendo-lhes seus préstimos de tradução, onde a palavra escrita tivesse que ser desvendada. Enfim, abrindo suas culturas ao Islã. (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 75).

É, portanto, nesse mosaico cultural que alquimia árabe ou islâmica, do século VIII ao XIII, irá se constituir. Um dos nomes que mais se destacam nesse universo é o de Jabir (720-815) que apresenta a *Teoria dos Balanços*, sobre o equilíbrio de qualidades, a partir da teoria aristotélica modificada, pois,

> [...] considera a existência inicial de quatro 'qualidades elementares', ou 'naturezas', o calor, o frio, o seco, o úmido;
>
> quando estas 'qualidades' se combinam com a 'substância' formam os 'compostos de primeiro grau': quente, frio, seco e úmido;
>
> a união de dois 'compostos de primeiro grau' dá origem aos quatro *elementos:* fogo (=calor+seco+substância), ar (=calor+úmido+substância), água (=frio+úmido+substância), terra (=frio+seco+substância). (MAARS, 1999, p. 109, grifo do autor).

Relacionada a essa teoria, tem-se a *Teoria do Enxofre-Mercúrio* dos metais, influenciada pela alquimia chinesa, em que todos os metais apresentam duas propriedades internas e duas internas: o chumbo é frio e seco externamente e quente e úmido internamente, já as propriedades do ouro são inversas.

Para Jabir, como destaca Alfonso-Goldfarb (2005, p. 69), os metais, influenciados pelos elixires, formam-se a partir da combinação do enxofre

(quente e seco) e do mercúrio (frio e úmido). Essa combinação também poderia promover a *transmutação* de metais menos nobres em ouro – a perfeita combinação.

A alquimia europeia no medievo com Roger Bacon

Trazida pelos árabes, a alquimia entra na Europa no período medieval, sobretudo com as Cruzadas (que tinham o objetivo de expulsar os árabes das terras santas), mais precisamente pela Sicília que estivera sob o domínio árabe de 902 a 1091 e, principalmente, pela Espanha parcialmente dominada de 711 a 1492.

A reconquista de regiões dominadas pelos árabes em que, segundo Alfonso-Goldfarb (2005), populações fronteiriças e comunidades de cristãos que viviam no mundo árabe ou, ainda, comunidades judaicas que conviveram com os mulçumanos, inserem uma grande quantidade de europeus medievais na arte da tradução. Com isso, passam a partilhar daquela cultura e trazem para a europeia os "textos gregos de Aristóteles, Ptolomeu, Euclides, dos médicos gregos, de Avicena, de astrônomos, astrólogos, matemáticos e alquimistas". (CHASSOT, 1994, p. 65-66).

Roger Bacon, consoante Alfonso-Goldfarb (2005), foi o representante do medievo que difundiu o pensamento alquímico pela Europa de forma mais sistematizada. De origem abastada, teve o privilégio de estudar e lecionar em Oxford, ligando-se depois ao clero por meio da ordem dos franciscanos.

Os estudos de Roger Bacon tinham um caráter organizador do saber da época, de tal forma que ele pretendia formar uma escola para trabalhadores, organizada a partir de suas ideias filosóficas, para "produzir obras práticas e ensinamentos que viessem a ajudar os discípulos de Cristo na sua árdua tarefa de evangelização". (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 114).

Apesar dessa característica sistematizadora de Roger Bacon, bastante valorizada na ciência moderna, ele vivia em um mundo analógico de signos e símbolos, sendo também esse o entendimento que possuía. Como destaca Alfonso-Goldfarb, para Roger Bacon,

> [...] o primeiro passo para a 'ciência experimental' é a crença. [...]
>
> O conhecimento baseado no senso comum tem, portanto, validade efetiva num primeiro estágio da 'ciência experimental'. [...]
>
> Desta forma, os conhecimentos dos homens práticos estariam acima daquele contido na ciência livresca ou teórica. Os artesãos, alquimistas e magos [...] seriam os mais aptos a exercer o comando do trabalho científico. (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 116).

Integrante do clero, com seus trabalhos dirigidos ao papa Clemente IV, Roger Bacon adquiriu prestígio suficiente, como aponta Alfonso-Goldfarb, para contribuir na difusão e fixação de uma atitude mais reflexiva do conhecimento alquímico entre os latinos. Seu nome também estava li-

gado ao movimento de teorização do conhecimento prático, em oposição à escolástica que prevalecia no período, por isso, pode ser considerado um precursor do *experimentalismo*.

A Europa do século XIV é marcada por guerras, fome, peste e uma enormidade de doenças que chega a dizimar um terço da sua população. Por isso, os conhecimentos alquímicos passam a ser utilizados para enfrentar tais problemáticas, sobretudo as da medicina, conhecida como Iatroquímica. Nessa relação entre a alquimia e a medicina, aparece o nome de Philippus Anreolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim Paracelsus.

A visão da medicina nessa época, ainda estava bastante impressionada pelo pensamento grego, dos quatro elementos, como demonstra Porto:

> A teoria médica mais difundida na época via o corpo humano saudável como o resultado do perfeito equilíbrio entre os *quatro humores* que o constituiriam. Estes humores estariam relacionados com a clássica doutrina dos *quatro elementos* e *quatro qualidades primárias*. Assim, os quatro humores, e as quatro qualidades respectivamente predominantes em cada um deles, seriam: sangue (quente), fleuma (úmido), bílis amarela (seco) e bílis negra (frio). (PORTO, 1997, p. 569, grifos do autor).

O Suíço Paracelso, ligado ao grupo de médicos que, segundo Tavares (2010), buscava aproximações entre as concepções árabes e uma medicina mais empírica e pragmática, era contrário à ideia dos quatro elementos e entendia que o homem era constituído por três princípios: sal, enxofre e mercúrio.[1] Para ele, o acometimento por uma doença seria resultado do desequilíbrio entre os três princípios, mas poderia ser curada por remédios minerais.

Paracelso e os seus discípulos têm por objetivo, como aponta Alfonso-Goldfarb (2005), fazer valer a sua cosmologia da alquimia mística contrária à visão aristotélica. Nela pode-se perceber a religião explicando a matéria, na qual a divina trindade fazia-se presente nos elementos – mercúrio/espírito, enxofre/alma e sal/corpo, ou água/*caos primevo* – constituindo um só corpo.

Esse caminho seguido pela alquimia mística, como destaca Alfonso-Goldfarb (2005) passa a despertar o interesse dos dissidentes da Igreja Católica com a Reforma Protestante que buscavam inteirar-se de conhecimentos condenados pela Igreja.

[1] *Enxofre* – princípio fixo – representa as propriedades ativas – combustibilidade, a ação corrosiva, o poder de atacar os metais, e também o princípio ativo ou masculino, o movimento, a forma, o quente. *Mercúrio* – princípio volátil – representava as propriedades passivas – maleabilidade, brilho, fusibilidade, a fraca tensão de vapor, o escorregadio que toma várias formas e o fugidio, e também outros aspectos como: o princípio passivo ou feminino, o inerte, o frio. *Sal* – também conhecido por arsênico – é o meio de união entre as propriedades do Mercúrio e as do Enxofre, como uma força de interação, muitas vezes associado à energia vital, que une a alma ao corpo. No ser humano, o enxofre seria o corpo físico; o mercúrio, a alma e o sal, o espírito mediador. (CORRÊA, 2010).

Um novo sistema de universo: a Química de Boyle e o Mecanicismo

O século XVII nasce com uma efusão de novas ideias contrapondo-se ao sistema cosmológico aristotélico. Nesse contexto, é destaque René Descartes, para quem o universo é "um contínuo de matéria, totalmente redutível a partículas infinitamente divisíveis, cuja relação entre si é explicada em termos mecânicos de movimento perfeitamente quantificável" (ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 155). Ou, como observa Chauí, Descartes considera que:

> [...] a realidade natural é regida por leis universais e necessárias do movimento, isto é, que a natureza é uma realidade mecânica. Considera também que as leis mecânicas ou leis do movimento elaboradas por sua filosofia ou por sua física são idéias racionais deduzidas de idéias inatas simples e verdadeiras. (CHAUÍ, 2000, p. 74).

Também nesse período está Francis Bacon, referência importante para o positivismo, o qual propõe que as teorias gerais sobre a natureza são obtidas indutivamente a partir de uma série sistemática de experimentos. Para ele:

> O mecânico, não se perturbando com a investigação da verdade, confina sua atenção àquelas coisas que pertencem ao seu trabalho específico... mas só haverá boa expectativa para o futuro avanço do conhecimento a partir do momento em que forem recolhidos e postos no contexto da história natural, uma variedade de experimentos, que não têm utilidade neles mesmos, mas servem simplesmente para a descoberta de causas e axiomas. (BACON apud ALFONSO-GOLDFARB, 2005, p. 156).

Nesse momento histórico, tem-se ainda Galileu, que concebia a realidade como um sistema racional de mecanismos físicos descrito pela matemática. Galileu afirma que o "livro do mundo está escrito em caracteres matemáticos". (CHAUÍ, 2000, p. 47).

As ideias desses três pensadores caracterizam a chamada ciência clássica, ou o mecanicismo ou a mecânica, por meio da qual

> [...] são descritos, explicados e interpretados todos os fatos da realidade: astronomia, física, química, psicologia, política, artes são disciplinas cujo conhecimento é de tipo mecânico, ou seja, de relações necessárias de causa e efeito entre um agente e um paciente. (CHAUÍ, 2000, p. 47).

Em tal contexto está inserido Robert Boyle, considerado um dos precursores da introdução do pensamento mecanicista no que irá se constituir em ciência Química. Ele rompe com a cosmovisão alquímica demonstrando que os três princípios (sal, enxofre e mercúrio) ou quatro elementos (água, terra, ar e fogo, este último relacionado ao que denominamos hoje

de energia. Elementos esses correlacionados, respectivamente, com os estados líquido, sólido, gasoso) podem ser decompostos, então a matéria não era formada exclusivamente por tais componentes. Como observa Frezzatti Jr., com a "introdução do mecanicismo na Química, não queremos significar com isso a introdução do cartesianismo puro na Química, mas sim da homogeneização e matematização dos processos de transformação da matéria" (FREZZATTI JR., 2005, p. 141, em nota de rodapé). Apesar de ele admitir a existência de substâncias e de misturas decomponíveis, não admitia que as primeiras pudessem ser reduzidas a partes menores.

Boyle indica "que os sistemas materiais terrestres poderiam ser formados macroscopicamente, por misturas (de substâncias) ou por uma única substância que, por sua vez, podia ser 'um corpo perfeitamente sem mistura' (substância simples) ou 'um corpo perfeitamente misturado' (substância composta)" (HOLTON; ROLLER, 1963 apud FURIÓ; DOMÍNGUEZ, 2007, p. 242).

Assim, como ressalta Frezzatti Jr., Boyle entende a

> [...] diversidade dos *corpos* e suas modificações através da desigualdade de forma, grandeza, estrutura e movimento (no vácuo) de corpúsculos. Um conjunto homogêneo de entidades recebe características invariáveis que permitem explicar e prever o comportamento de determinado objeto. Em outras palavras, o mecanicismo tenta explicar o mundo visível através de um mundo invisível: as partículas, seus atributos geométricos, seu movimento. (FREZZATTI JR., 2005, p. 141, grifo nosso).

Boyle é considerado o precursor do que se entende ainda hoje por *análise química* (CHAGAS, 1986) por ter desenvolvido muitos testes de caráter qualitativo. Com isso, os elementos resultantes das análises químicas eram, para ele, "os verdadeiros limites extremos da análise química". (MASON, 1964 apud OKI, 2002, p. 23).

Essa interpretação dada por Boyle à estrutura da matéria implica em reavaliar a ideia da transmutação alquímica, uma vez que seria a reorganização desses *corpos* o motivo da ocorrência das transformações químicas.

O Flogístico, Lavoisier e uma nova química do século XVIII ao XIX

Coexistiam, no século XVIII, pelo menos duas ideias que tentavam explicar o comportamento da matéria. A defendida pelo grupo de Georg Ernst Stahl, formulador da teoria do Flogístico (do grego *phlogiston* = inflamar-se), o qual se inspirou nos trabalhos de seu professor Joahann Becher. Tal conceito foi elaborado por volta de 1700, em que, segundo Maars (1999) o flogístico era considerado o responsável pela combustibilidade, de modo que submetendo os metais e substâncias combustíveis a processos de combustão ou calcinação o flogístico era liberado.

Outra ideia de destaque nesse período foi aquela advinda do grupo de Lavoisier, que "defendia que a combustão, a calcinação (por exemplo, na ferrugem) e a respiração estavam envolvidas na absorção de oxigênio". (THAGARD, 2007, p. 266). Nunca é demais lembrar que por seus trabalhos Lavoisier é considerado "o sistematizador e quantificador da química" (FILGUEIRAS, 1995, p. 220), e como bem destaca Oki (2002), por meio de sua obra: *Tratado Elementar de Química*, Lavoisier "usou meios empíricos para contestar os conceitos antigos, herdados de Aristóteles e dos alquimistas. Ele adotou o conceito introduzido por Boyle, dando-lhe uma existência concreta e precisa". (OKI, 2002, p. 23).

O trabalho de Lavoisier, como aponta Frederic Lawrence Holmes, englobou

> [...] a substituição de um sistema químico por outro baseado numa nova teoria geral da combustão; um novo método de análise química baseada na convicção de que nada é ganho ou perdido numa operação química.(HOLMES, 1983 apud FILGUEIRAS, 1995, p. 220).

Filgueiras (1995), citando Paul Thagard, resume a diferença conceitual entre as ideias de Stahl e de Lavoisier em relação a:

(I) os processos de calcinação de um metal

Stahl:	metal	➔	cal + flogístico (metal = composto)
Lavoisier:	metal + oxigênio	➔	cal (metal = elemento)
Hoje:	metal + oxigênio	➔	óxido de metal (MAARS, 1999, p. 477)

(II) a combustão do hidrogênio

Stahl:	ar inflamável	➔	cal + flogístico (ar inflamável = composto)
Lavoisier:	hidrogênio + oxigênio	➔	água (hidrogênio = elemento)

Cabe destacar que ao que Lavoisier chamava de elemento tem relação com o que se entende por substância simples, que já vinha sendo estruturada desde o século anterior.

Como apontam Furió e Dominguez (2007, p. 245), a partir do trabalho de Lavoisier, as reações químicas passam a ser compreendidas ao nível macroscópico, tomando como referência as substâncias reagentes e produtos – incluindo os gases – pela conservação dos elementos químicos (para ele substâncias simples) e da massa.

Oki (2002) destaca que Lavoisier, apesar da importância de seu trabalho, comete alguns equívocos como incluir o calórico e a luz como elementos que não podem ser *pesados*, trazendo embutidos resíduos de uma química qualitativa. Além de usar diferentes denominações para elemento químico, tais como: princípio, elemento, substância simples e corpo simples.

Ainda, de acordo com Furió e Dominguez (2007), a química só iria se estruturar com ciência moderna quando passou a considerar uma nova

ontologia sobre as substâncias e os fenômenos químicos. Ela deveria ser compatível com uma estrutura corpuscular microscópica podendo, com isso, explicar as propriedades físicas gerais dos gases.

Somente a partir das contribuições de John Dalton, no século XIX, é que se tem um corpo de explicações teóricas que viabilizam "uma representação microscópica geral das substâncias, em qualquer estado, e das mudanças substanciais nas reações químicas". (FURIÓ; DOMINGUEZ, 2007, p. 245).

Estilos de Pensamento e Obstáculos Epistemológicos na construção do conceito de substância

As diferentes compreensões que se têm, ao longo da história, a respeito do conceito de substância e como elas se difundiram em distintos círculos podem ser interpretadas por meio do pensamento epistemológico de Ludwik Fleck, especialmente a partir da sua categoria Estilo de Pensamento, que consiste

> [...] numa determinada atmosfera e sua realização. Uma atmosfera possui dois lados inseparáveis: ela é a disposição para um sentir seletivo e para um agir direcionado correspondente. Ele gera as formas de expressão adequadas: religião, ciência, arte, costumes, guerra etc, de acordo com a predominância de certos motivos coletivos e dos meios coletivos investidos. Podemos, portanto, *definir o estilo de pensamento como percepção direcionada em conjunção com o processamento correspondente no plano mental e objetivo*. Esse estilo é marcado por características comuns dos problemas, que interessam a um coletivo de pensamento; dos julgamentos, que considera como evidentes e dos métodos, que aplica como meios do conhecimento. É acompanhado, eventualmente, por um estilo técnico e literário do saber. (FLECK, 2010, p. 149, grifos do autor).

Em outras palavras, é um *como perceber*, *um olhar*, *um entendimento orientado* por um *saber* construído sócio-historicamente e como este *saber* interfere na elaboração do conhecimento sobre um campo de estudo, ou uma determinada área do conhecimento.

A epistemologia comparativa fleckiana não considera o conhecimento uma relação bilateral entre sujeito e objeto, entre o cognoscente e o objeto a conhecer. Propõe que deve haver um terceiro fator, o "estado do conhecimento" (FLECK, 1986, p. 85) ou "estado do saber" (FLECK, 2010, p. 815) o qual "deve ser entendido como as relações históricas, sociais e culturais que marcam o estilo de pensamento onde o coletivo de pensamento é permeado" (DELIZOICOV et al., 2002, p. 56).

Para Fleck – como também para Bachelard, ambos realistas críticos – o conhecimento do presente explica com mais propriedade ou dá respostas

mais completas do que as respostas do passado às perguntas feitas sobre determinados problemas. Então, sendo o conhecimento sobre certo objeto de estudo um construto histórico, a verdade sobre tal objeto não está dada nem no passado nem no presente, mas é foco constante de investigação crítica para melhor conhecê-la no futuro.

Assim, no caso do conceito de substância, é possível identificar a existência de perguntas que têm motivado a busca pelo conhecimento, por exemplo: do que são constituídos os materiais e os objetos que nos rodeiam? As respostas apresentadas se estabelecem a partir das ideias circulantes em cada momento da história, ou seja, se relacionam ao Estilo de Pensamento (EP) vigente que circula no coletivo que enunciou as perguntas e, até mesmo, anuncia a(s) resposta(s) do problema.

Com isso, a resposta dada pelos pré-socráticos se prendia à cosmovisão vitalista-materialista, que usava a *matéria primordial* – seja o fogo, a água, o ar – para entender como é constituída a matéria em seus diferentes estados. Tal era a força dessa ideia que até o imaterial – sonhos, pensamentos, etc. – tendia a ser explicado por esse Estilo de Pensamento.

Todavia, como essa proposição continha em si uma contradição a uma concepção maior presente no pensamento dos atomistas gregos, a impossibilidade do vácuo, outra explicação ao mesmo problema é apresentada: a dos quatro elementos; gerando com isso uma nova pergunta: o que mantém unido esses elementos que formam a matéria?

As diversas explicações dadas a essas duas perguntas sempre denotam o EP que as orientam, quer seja a visão dualista – amor e ódio, ou um quinto elemento – o éter de Aristóteles, e a transmutação entre os elementos que constituem toda a matéria.

Tais ideias enraízam-se de maneira tão intensa que de forma mais ou menos evidente se mantém ao longo dos séculos, passando a se constituir em um obstáculo epistemológico. Nessa situação, a ideia da transmutação irá perdurar, pelo menos de forma mais claramente percebida, até o século XVII.

A transmutação,[2] tida como a intenção de transformar metais em ouro, se referindo às propriedades desse, trás o fundamento do que vem a ser o obstáculo substancialista, pois tais propriedades se prolongariam da matéria macroscópica até a sua essência. Então, o que os alquimistas e os pós-alquimistas do século XVII e até mesmo do XVIII, pretendiam era propor processos laboratoriais para transformar a matéria elevando-a a um *status* de qualidades superiores, representado pelo ouro. Para isso, tinham que propor respostas à questão sobre a constituição da matéria.

[2] A transmutação seria o processo pelo qual um objeto tem sua essência substituída por outra; por exemplo, quando o metal transforma-se em vidro ou pedra e a pedra em carvão. Apesar de poder ocorrer com qualquer material, a transmutação de metais seria o grande segredo da natureza, muito difícil de se realizar, embora não fosse contrário nem à natureza nem a Deus. Os metais são classificados como perfeitos (ouro e prata) e imperfeitos (cobre, ferro, estanho, chumbo, etc.). A produção de metais perfeitos com base em metais imperfeitos só seria possível por meio da Pedra Filosofal. (FREZZATTI, 2005, p. 146).

Apesar da visão alquimista no entendimento do mundo estender-se por séculos, é possível observar com Boyle uma ruptura entre os estilos de pensamento vigentes à época em busca de superar aquele Obstáculo Substancialista estabelecido.

Ao propor que a matéria não era constituída pelos quatro elementos e pelos três princípios e sim por substâncias compostas desmembráveis em simples, sendo essas últimas não decomponíveis, Boyle estrutura as bases de uma cosmovisão macroscópica da estrutura da matéria em que as substâncias simples obtidas analiticamente seriam os limites da matéria, refazendo assim o Obstáculo Substancialista.

Com o trabalho sistematizador de Lavoisier, as ideias de Boyle são refinadas, promovendo também a desestruturação das concepções do flogístico que revivia, em certa medida, a visão alquímica do mundo adicionando a ela um forte caráter religioso, contudo, o entendimento dado por Lavoisier ao que ele chamou de *elemento*, localiza-o no mesmo estilo de pensamento no qual a ideia macroscópica prevalecia assim, elemento para ele era o mesmo que se chama de substância simples. Essa ontologia dos constituintes mínimos da matéria se manterá até o século XIX quando o modelo de Dalton proporá uma visão microscópica do mundo.

Mesmo com tais rupturas em relação ao entendimento aristotélico e do alquímico, o Obstáculo Substancialista permanece enquanto se mantém a explicação ao nível macroscópico da estrutura mínima da matéria. Isso só começaria a ser superado a partir da Mecânica Quântica, pois ficará vencida a ideia de que as propriedades da substância são a própria substância.

Importância e implicações ao Ensino de Química da circulação de ideias sobre o conceito de substância ao longo da história: problematização crítico-dialógica

O que se pode vislumbrar com uma breve reconstituição histórica do conceito de substância é que a eventual, mas não incomum, confusão entre *substância* e *composto*, da mesma forma como se apresenta nos materiais didáticos, na visão de estudantes (inclusive universitários) e nas práticas docentes não é algo simples de ser resolvido (MIRONE; ROLETTO, 1999). Tal situação talvez possa ser melhor compreendida e superada a partir da identificação dos diferentes estilos de pensamento que levaram a manutenção e formulação de distintos modelos explicativos, os quais constituíram os erros epistemológicos cometidos no passado.

Entretanto, ao não se denotar como os problemas foram sendo resolvidos no decorrer da história da humanidade, o que se pode observar no Ensino de Química, por meio das práticas pedagógicas e dos materiais didáticos, é a disseminação da concepção de que a Química e seus objetos se resumem a memorização de fórmulas e as explicações lógico-matemáticas dos fenômenos.

Por exemplo, Fiorentini e Roletto (2000), ao hipotetizarem um currículo escolar para a Química, salientam a importância de vários de seus conceitos fundamentais, dentre os quais o de substância, elemento e composto,

> [...] pois não são autoevidentes ou naturais, que não podem ser assumidos no ensino como axiomas. São conceitos que precisam ser construídos a partir do senso comum dos estudantes, conexos à fenomenologia química elementar. (FIORENTINI; ROLETTO, 2000, p. 168).

Eles reforçam o dito anteriormente, destacando que esse não é um conceito científico simples[3] de ser compreendido pelos estudantes, pois um dos principais obstáculos epistemológicos é o do senso comum (FIORENTINI; ROLETTO, 2000, p. 161), cuja terminologia *substância* é usada na vida diária para indicar – de modo indiferenciado – o substrato material de qualquer coisa como sinônimo de matéria ou de material, todavia, esse conceito cientifico é fortemente entrelaçado ao de misturas e de material, cujos significados têm que ser gradativa e didaticamente construídos no arco de alguns anos de escolarização. Nesse aspecto, é necessário ter em consideração os diferentes âmbitos do saber químico: o dos fenômenos químicos (conceitos categoriais), o das leis e teorias macroscópicas (nível fenomenológico), o dos modelos microscópicos (registros explicativos) e o da linguagem química (transversal aos três primeiros âmbitos).

Portanto, adotar uma definição mais rigorosa, tal como "um agregado de, pelo menos, dois átomos ligados em um arranjo definido por forças químicas" (CHANG, 2006, p. 38), ou ainda, "um grupo discreto de átomos ligados em um arranjo específico" (ATKINS; JONES, 2006, p. 47), posteriormente empregada na definição de *composto* (substância eletricamente neutra formada por dois ou mais elementos diferentes cujos átomos estão em uma proporção definida (ATKINS; JONES, 2006, p. 47)). é algo que foi formalizado (construído) ao longo da História da Química e que a escola precisa resgatar. E mais, em situações de ensino é necessário respeitar ou estabelecer sequências didáticas que se iniciam no Ensino de Ciências – no final do Ensino Fundamental – por meio da abordagem de situações fenomenológicas e manipulativas visando a individuar propriedades empíricas para distinguir alguns materiais.

Deveria ser após esse exaustivo percurso de estudo exploratório, com um processo de caráter contextual e da abordagem de problemas a ele correlacionados que se iniciaria uma nova fase, de caráter epistemológico. Muito próxima à fase de definição conceitual ou de apropriação das categorias essências da Química, ainda que de tipo formal, pois ligadas a ideias e não somente a objetos. Por fim, se trabalharia a construção de modelos explicativos visando a distinguir, evidenciar e caracterizar, por

[3] O conceito mais simples que os químicos usam para substância é "uma porção de matéria que tem propriedades bem definidas e que lhe são características". (PERUZO; CANTO, 2002, p. 16).

meio de uma elevada gama de exemplos de materiais, as distintas e específicas propriedades físicas e químicas dos mesmos, culminando com a sua formalização em teorias e conceitos químicos.

Para seguir esse caminho há que se considerar a necessidade de se identificar primeiramente as ideias de senso comum que possuem os alunos a respeito de uma determinada temática, no presente caso o conceito de substância.

Recorrendo novamente a Fleck, para o epistemólogo um teórico do conhecimento não pode ser indiferente à história da gênese de um conceito científico e tampouco à ideia que não existem erros absolutos ou verdades absolutas, reforçando a tese de que não há como nos libertarmos de um passado que, com todos os seus erros, "segue vivo nos conceitos herdados, nas formas de conceber os problemas e nos programas de ensino formal no tempo presente e até na vida diária [...] pois, não existe uma *generatio spontanea* dos conceitos". (FLECK, 1986, p. 67). Logo, tais aspectos circulam no processo histórico e acompanham determinados conhecimentos que os sujeitos da aprendizagem adquirem/herdam nas relações diárias próprias do convívio social.

Fleck (1986, p. 74) ainda considera que "uma vez formado um sistema de opinião estruturalmente completo e fechado", esse resistirá intensamente frente a tudo que o contradiga, mas isso não significa intolerância ou reserva frente às inovações, e sim uma ativa forma de proceder – composta de intensidades variáveis – dentre as quais se destacam duas: a que uma contradição ao sistema é impensável e aquilo que não coincide com o sistema permanece despercebido (FLECK, 1986, p. 74).

Tal processo de resistência é interpretado como um sistema direcionador do olhar, uma "coerção do pensamento" (FLECK, 1986, p. 141). Algo que para nós se assemelha ao que Bachelard denominou de Obstáculo Epistemológico (BACHELARD, 1996). Todavia, se o sujeito está diante do objeto a ser conhecido – em uma situação de ensino e aprendizagem, por exemplo – ao utilizar seus modelos explicativos para interpretar tal objeto, se algo não está funcionando nessa interpretação, tal situação assume, então, aquilo que Fleck denominou de "complicações". O sujeito consciente de um problema por ele não resolvido, diante do enfrentamento dessa complicação pode flexibilizar seu EP e até mesmo transformá-lo.

Explicando melhor. Para Fleck o processo de construção do conhecimento se estabelece na coletividade, não é neutro e tem caráter histórico, social e cultural que o determina. Assim, o sujeito que participa desse processo é um sujeito coletivo que compartilha práticas, concepções, tradições e normas, ou seja, um *Estilo de Pensamento* (EP) próprio de um grupo que coaduna do mesmo EP, ou seja, constituem um *Coletivo de Pensamento* (CP). E, como apontam Leite, Ferrari e Delizoicov (2001), cada CP apresenta uma maneira particular de ver o objeto do conhecimento e de relacionar-se com ele, a qual é determinada pelo seu estilo

de pensamento. Isso implica em um direcionamento do olhar que orienta sua prática e guia *o que observar, o que olhar e como olhar* (*ver formativo*), chegando mesmo a interferir em suas atividades diárias.

Tomando, então, como premissa o *desejo* de um determinado coletivo em querer uma resposta para um problema, o resgate da história do enfrentamento das situações recorrentes que o envolve assume um papel fundamental. Nesse sentido, a função que a circulação intercoletiva de ideias teve nesse processo histórico da elaboração das respostas a esse problema [o que inclui também os erros epistemológicos] até a elaboração conceitual necessitaria ser realçado, de modo que um novo olhar sobre a mesma situação problema poderia fazer emergir uma mudança de EP.

Por outro lado, para Fleck um sujeito pode pertencer a distintos coletivos de pensamento simultaneamente, transitando livremente entre eles, o que garante a circulação inter e intracoletiva de ideias (FLECK, 2010, p. 157-163). Assim, "um pesquisador em Química, por exemplo, pode se reportar a outros coletivos de pensamento como o de pesquisadores em ensino de Química, ou mesmo ao de professores de Química, e assim por diante". (GONÇALVES; MARQUES; DELIZOICOV, 2007).

Os coletivos de pensamento segmentam-se em círculos: o esotérico e o exotérico. Este último sendo formado por indivíduos que, de uma ou outra forma, consomem o conhecimento produzido pelo círculo esotérico, constituído por especialistas. Levando-se em conta que os indivíduos podem pertencer, simultaneamente, a mais de um *círculo exotérico e esotérico*, Fleck propõe que tal fato faz ocorrer a circulação de ideias, afirmando que "a complexa estrutura da sociedade moderna leva consigo que os coletivos de pensamento se interseccionem e inter-relacionem de formas diversas, tanto temporal quanto espacialmente". (FLECK, 1986, p. 154).

Uma vez que cada coletivo que constitui um círculo *Eso* possui um estilo de pensamento próprio, e para mantê-lo os participantes passam a utilizar processos mais ou menos coercitivos, por meio da Circulação Intracoletiva de Ideias, reforçam-se os laços entre os componentes do coletivo de pensamento, formando, ainda, novos integrantes que passarão a compartilhar o mesmo Estilo de Pensamento.

Já para a disseminação do Estilo de Pensamento do Círculo Esotérico, para o Círculo Exotérico ocorre a Circulação Intercoletiva de Ideias, que pressupõe a introdução de novas ideias de um Coletivo de Pensamento em outro com seu Estilo de Pensamento instaurado.

Em relação a essa circulação de ideias, Alvetti e Cutolo (2005, p. 2) apontam que é possível identificar as "articulações com o processo da comunicação científica, em particular, no processo de disseminação científica", quer intrapares, ou seja, entre especialistas da mesma área do conhecimento ou áreas afins; ou extrapares, para especialistas fora da área de conhecimento do objeto da disseminação. Como destaca Fleck, "a palavra impressa, o cinema e o rádio possibilitam o efeito intelectual recí-

proco dentro da comunidade de pensamento e a coesão entre os círculos esotéricos e exotéricos, apesar das distâncias e da falta de circulação de pessoas". (FLECK, 2010, p. 159). Ainda de acordo com Alvetti e Cutolo, "No caso da disseminação científica intrapares, temos a circulação de ideias nos círculos esotéricos de especialistas, e na disseminação extrapares, por sua vez, a circulação nos diversos círculos exotéricos de especialistas". (ALVETTI; CUTOLO, 2005, p. 3).

Considerar a possibilidade do Ensino de Química – e da sua aprendizagem – a partir de tal viés epistemológico significa conceber a necessidade de uma ação pedagógica que leve em conta a cultura primeira (SNYDERS, 1988) dos educandos. No presente caso, a organização de situações pedagógicas que procurem identificar os diversos entendimentos que os educandos têm sobre o que seja *substância*, as quais serão problematizadas criticamente, a partir de contradições sociais vividas por esses sujeitos em sua realidade, levando em consideração que muitas dessas compreensões podem se assemelhar a desafios em situações vivenciadas pela ciência em determinados períodos históricos.

Em tal perspectiva, assume-se o caráter crítico-libertador da educação, como proposto por Paulo Freire (2007), e busca-se por meio dela alcançar a consciência crítica a fim de superar as *situações limites*,[4] constituídas na relação opressor-oprimido, as quais são consideradas barreiras intransponíveis por esses sujeitos.

Quando perceberem que tais situações podem ser a *fronteira entre o ser e o ser mais*, e que trazem implícito o *inédito viável*[5] para os oprimidos, tornando-se nova *situação limite* para os opressores (por isso, a insistência em manter a *situação limite* aos primeiros), é que se dará a libertação da opressão desumanizante desses sujeitos.

Tomando como referência a epistemologia fleckiana, é possível localizar o EP dos oprimidos na fase de Harmonia das Ilusões (FLECK, 2010, p. 16), pois tendem a explicar os fatos baseando-se no conhecimento de senso comum (como no caso histórico do *substancialismo*). Esse Estilo de Pensamento instaurado e constantemente obscurecido pelas situações-limites pode ser modificado quando Complicações (FLECK, 2010, p. 71) são provocadas por meio da Circulação Intercoletiva de ideias. E, como as explicações dadas aos fatos de forma simplista, mítica ou mística, não são suficientes, as mentes inquietas buscam um novo estilo de pensamento.

Nesse sentido, salientamos, tais mudanças podem ser provocadas a partir da educação problematizadora, onde ensinar implica em (re)co-

[4] "Para Freire, as mulheres e os homens como corpos conscientes sabem bem ou mal de seus condicionamentos e de sua liberdade. Assim, encontram, em suas vidas pessoal e social, obstáculos, barreiras que precisam ser vencidas. A essas barreiras ele chama de "situações limites". Os homens e as mulheres têm várias atitudes diante dessas "situações limites": ou as percebem como um obstáculo que não podem transpor, ou como algo que não querem transpor ou ainda como algo que sabem que existe e que precisa ser rompido e então se empenham na sua superação." (FREIRE, Ana Maria Araújo. Notas. In: FREIRE, 2006, p. 205.)

[5] "O "inédito viável" é na realidade uma coisa inédita, ainda não claramente conhecida e vivida, mas sonhada e quando torna um "percebido destacado" pelos que pensam utopicamente, esses sabem, então, que o problema não é mais um sonho, que ele pode se tornar realidade." (FREIRE, Ana Maria Araújo. Notas. In: FREIRE, 2006, p. 206).

nhecer o objeto já conhecido, ou então refazer "*a sua cognoscitividade na consgnoscitividade dos educandos*" (FREIRE, 2006, p. 81, grifo nosso); constituindo-se assim, enquanto possibilidade, a adoção de novos Estilos de Pensamento e a filiação a um novo Coletivo de Pensamento que, no caso em discussão, serão agora formados por sujeitos cientificamente alfabetizados em torno ao conceito de substância. Estes, então, libertos do senso comum e mais críticos em relação à sua situação existencial, poderão promover mais a Circulação Intercoletiva de Ideias e a ampliação dos participantes ao novo CP.

Portanto, defende-se a educação problematizadora como sendo "o esforço de propor aos indivíduos dimensões significativas de sua realidade, cuja análise crítica lhes possibilite reconhecer a interação de suas partes" (FREIRE, 2005, p. 111), com a formação de indivíduos que assumam uma postura crítica frente às "situações limites". Neste sentido Paulo Freire propõe que se propicie a descodificação dialógica da "situação existencial" do sujeito, que está codificada e traz consigo as marcas históricas da relação opressor-oprimido, observada no reconhecimento do "sujeito no objeto e do objeto como situação em que está o sujeito" (FREIRE, 2005, p. 112-113).

A descodificação dessa situação codificada possibilita aos homens observarem "de fora" a sua realidade concreta e vislumbrarem uma nova situação possível, liberta. Logo, o *inédito viável*. Ao vislumbrarem essa nova possibilidade – descodificando as *situações limites,* os indivíduos tendem a realizar uma *cisão* da condição – codificada, na qual estão imersos.

Tomar esses fundamentos e compromissos político-filosóficos, históricos e culturais, da concepção crítico-problematizadora de Freire, adotando-os ao Ensino de Química implica, por exemplo, em identificar as ideias que os alunos têm sobre determinado conceito, formulados de acordo com o Estilo de Pensamento que se encontram vinculados. Após identificar tais ideias, é preciso problematizá-las tomando como ponto de partida situações que contenham contradições vividas pelos sujeitos em suas realidades sócio-históricas e culturais. Assim, ao se buscar as explicações a tais situações reais utilizando-se também dos conhecimentos científicos/químicos historicamente produzidos é que se busca ter uma aprendizagem significativa, de modo a promover um novo estilo de pensamento.

Referências

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. *Da alquimia à química:* um estudo sobre a passagem do pensamento mágico-vitalista ao mecanicismo. São Paulo: Landy, 2005.

ARAÚJO, Dahir Xavier de; SILVA, Roberto Ribeiro da; TUNES, Elizabeth. O conceito de substância em química apreendido por alunos do ensino médio. *Química Nova,* v. 18, n. 1, p. 80-90, 1995.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. *Princípios de química:* questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico* – contribuição para uma psicanálise do conhecimento. RJ: Contraponto, 1996.

BACHELARD, Gaston. *O materialismo racional.* São Paulo: Edições 70, 1990.

BACHELARD, Gaston; LECOURT, Dominique. *Epistemologia:* trechos escolhidos por Dominique Lecourt. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

CHAGAS, Aécio Pereira. Alguns aspectos da química no século XVII. *Química Nova*, v. 9, p. 268, 1986.

CHANG, Raymond. *Química Geral:* conceitos essenciais. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

CHASSOT, Attico. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1994.

CHAUI, Marilena. *Convite à Filosofia*. São Paulo: Ática, 2000.

CORRÊA, Anderson Domingues. *A Alquimia e os verdadeiros alquimistas*. Disponível em:<http://sites.google.com/site/sabiosalquimistas/principios>. Acesso em: 28 set. 2010.

DELIZOICOV, Demétrio; CASTILHO, Nadir; CUTOLO, Luiz Roberto Agea; DA ROS, Marco Aurélio; LIMA, Armênio Matias Corrêa. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v*. 19, n.1. Florianópolis: UFSC, 2002.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. 40. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da esperança*: um reencontro com a pedagogia do oprimido. 13. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2006.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto Lombardi "A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?". *Revista Química Nova,* v. 18, n. 02, 1995, p. 219-224.

FIORENTINI, Carlo; ROLETTO, Ezio. Ipotesi per il curricolo di chimica. *CnS* – La Chimica nella Scuola, Novembre – Dicembre 2000, p. 158-168. Disponível em: www.soc.chim.it/it/riviste/chimica_nella_scuola. Acesso em: 20 set. 2011.

FLECK, Ludwik. *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

FLECK, Ludwik. *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FREZZATTI JR., Wilson A. Boyle: A Introdução do Mecanicismo na Química. *Varia Scientia,* Cascavel, v. 5, n. 9, p. 139-156, 2005.

FURIÓ, Carles M.; DOMÍNGUEZ, Consuelo. S. Problemas Históricos y Dificultades de los Estudiantes en la Conceptualización de Sustancia y Compuesto Químico. *Enseñanza de las Ciencias, Barcelona*, v. 25, n. 2, p. 241-258, 2007.

HESSEN, J. *Teoria do Conhecimento.* São Paulo: Martins Fontes, 1999.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da Ciência Química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, v. 74, n. 177, p. 309-334, maio/ago. 1993.

MAARS, Juergen Heinrich. *Pequena História da Química*. Florianópolis: Papa-Livro, 1999.

MIRONE, Paulo; ROLETTO, Enzo. Sostanze, miscele, reazione: un`indagine sulle concezioni delle matricole di chimica. *CnS* – La Chimica nella Scuola, XXI (4), 116-121, 1999. Disponível em: www.soc.chim.it/it/riviste/chimica_nella_scuola. Acesso em: 20 set. 2011.

OKI, Maria da Conceição Marinho. O Conceito de Elemento da Antiguidade à Modernidade. *Qnesc*, n. 16, nov., 2002, p. 21-25.

PERUZZO, Francisco Miragaia (Tito); CANTO, Eduardo Leite do. *Química:* na abordagem do cotidiano. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2002.

PORTO, Paulo A. Os três princípios e as doenças: a visão de dois filósofos químicos. *Química Nova*, São Paulo, v. 20, n. 5, p. 569-572, 1997.

ROCHA-FILHO, Romeu Cardozo; TOLENTINO, Mário; SILVA, Roberto Ribeiro da; TUNES, Elizabeth; SOUSA, Emílio Carlos Poderoso de. Ensino de conceitos em Química: III. Sobre o conceito de substância. *Química Nova*, v. 11, n. 4, out. 1988.

ROMANELLI, Lilavate Izapovitz. O papel mediador do professor no processo de ensino-apredizagem do conceito de átomo. *Qnesc,* n. 03. São Paulo: maio. 2006.

SILVEIRA, Marcelo P. *Uma análise epistemológica do conceito de substância em Livros Didáticos de 5ª e 8ª séries do Ensino Fundamental.* 2003. Dissertação. (Mestrado) Instituto de Química, Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, Nilma Soares da; AGUIAR, Orlando. O uso dos conceitos de elemento e substância por estudantes do ensino fundamental: uma perspectiva de análise sociocultural. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 8, n. 3, 2008.

SNYDERS, Georges. *A Alegria na Escola.* São Paulo: Manole, 1988.

TAVARES, Leandro Henrique Wesolowski. Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de Química brasileiros: o conceito de substância. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,* v. 8, n. 3, 2009, p. 1004-1018.

THAGARD, Paul. A estrutura conceitual da revolução química. Trad. Marcos Rodrigues da Silva e Miriam Giro. *Princípios,* UFRN, CCHLA, Natal/RN, v. 14, n. 22, jul./dez. 2007, p. 265-303.

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE GENÉTICA CLÁSSICA: OS ESTUDOS INICIAIS DE THOMAS HUNT MORGAN COM *DROSOPHILA*

CAPÍTULO 14

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins
Maria Elice Brzezinski Prestes

Introdução

Este trabalho insere-se na tendência que propõe a aplicação da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, em uma *abordagem inclusiva* (*add-on-approch),* ou seja, a introdução de episódios históricos específicos em unidades de cursos de ciências padrão (ver: Matthews, 1994, p. 70; Prestes; Caldeira, 2009, p. 7).

Este tipo de estudo é recomendado por documentos oficiais de ensino de diversos países, como é o caso, em nosso país, dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), da Proposta Curricular do Estado de São Paulo.

Pesquisas feitas em diversos países indicam que estudantes e professores, geralmente, apresentam concepções inadequadas a respeito da Natureza da Ciência (como se pode ver em MacComas, Almazroa e Glough, 1998; Lederman, 2007; El-Hani, Tavares e Rocha, 2004; Carmo, 2011).

Por meio do estudo de episódios científicos, é possível mostrar que o empreendimento científico não é algo isolado, mas está inserido em um contexto histórico, cultural, de um mundo humano, sofrendo influência e influenciando muitos aspectos da sociedade, o que contribui para o desenvolvimento de um espírito crítico (MARTINS, 2006). Esse tipo de abordagem contribui para a alfabetização científica, fazendo com que o aluno seja capaz de interpretar e conhecer a linguagem científica e o processo de construção do conhecimento (ver: Laugksch, 2000; Sasseron e Carvalho, 2008).

No caso, estamos propondo a utilização de um episódio histórico da genética clássica no ensino de biologia no ensino médio, o início dos estudos de Thomas Hunt Morgan (1866-1945) sobre a genética de *Drosophila* e a teoria cromossômica.

Nos livros didáticos de Biologia do Ensino Médio, na seção de Genética Clássica, geralmente, Thomas Hunt Morgan é apresentado como tendo complementado os trabalhos de Gregor Mendel (1822-1884) em 1910 e tendo adotado como hipótese de trabalho que os fatores mendelianos (genes) são entidades físicas localizadas nos cromossomos.[1] Além disso, conforme

[1] Existem alguns trabalhos que tratam da parte histórica dos livros didáticos de biologia, como por exemplo, Martins,1998; Martins e Brito, 2006b; Bittencourt e Prestes. No prelo.

pudemos verificar nesta pesquisa, as descrições afirmam que ele realizou os cruzamentos com *Drosophila* para testar a 1ª e a 2ª leis de Mendel e que *provou experimentalmente* a hipótese cromossômica a partir de 1910.

Em alguns livros-texto, o trabalho com *Drosophila* é atribuído somente a Morgan. Em outros, seus colaboradores diretos são mencionados, mas, de um modo geral, o trabalho de outras pessoas da época é omitido. Há, entretanto, alguns livros didáticos mais recentes que mencionam as contribuições de outros cientistas e procuram fazer uma relação entre elas.

As descrições apresentadas também costumam passar a ideia de que Morgan escolheu trabalhar com a mosca de frutas *Drosophila* por considerá-la um material adequado para testar a hipótese cromossômica e os princípios de Mendel. Também é comum encontrar que ele trabalhou com esse material experimental desde o início de sua carreira profissional.

Um estudo detalhado, a partir de fontes primárias, isto é, dos trabalhos originais de Morgan, e de fontes secundárias relevantes, produzidas por historiadores da ciência, mostra que as coisas não se passaram conforme essas descrições (ver: Morgan, 1909; Morgan, 1910a; Morgan, 1910b; Allen, 1975; Allen, 1978; Martins, 1997; Martins, 1998; Martins e Brito, 2006a). Em razão disso, o objetivo deste artigo é fornecer um material histórico que possa ser utilizado nas aulas de Biologia do Ensino Médio ou em cursos para a formação de professores. Esta iniciativa constitui uma contribuição com vistas a minimizar o obstáculo causado pela falta de material didático que possibilite inovação curricular via História da Ciência (ver: Hoetcke e Silva, 2010).

Episódios históricos, desde que acurados e, historiograficamente, atualizados, fornecem oportunidade para que os professores possam promover discussões explícitas com seus alunos sobre a Natureza da Ciência, objetivo este que vem sendo realçado na literatura da área de pesquisa em Ensino de Ciências (a exemplo de Rudge e Howe, 2009).

As críticas de Thomas Hunt Morgan à teoria mendeliano-cromossômica

Morgan, até 1910-1911, não aceitava nem os princípios de Mendel e nem a teoria cromossômica, tendo escrito vários trabalhos criticando-os. O trecho reproduzido a seguir dá uma ideia de qual era a sua posição na época:

> Na moderna interpretação do mendelismo, fatos estão sendo transformados em fatores num ritmo rápido. Se um fator não explica os fatos, então dois são invocados; se dois se mostrarem insuficientes, três às vezes resolvem. [...] é apenas correto afirmar que aqueles que estão fazendo o verdadeiro trabalho para o progresso das linhas mendelianas estão inteirados da natureza hipotética da suposição dos fatores. (MORGAN, 1909, p. 365).

Nessa época, Morgan fazia várias críticas tanto às concepções de Mendel como à ideia de que os fatores mendelianos estivessem localizados nos cromossomos nucleares, ou, ainda, que pudesse existir um paralelo entre o comportamento dos cromossomos durante as divisões celulares e os princípios de Mendel. Ele criticava a teoria cromossômica e a teoria de Mendel porque ambas envolviam partículas, não tinham sido verificadas experimentalmente e por isso as considerava especulativas. As duas teorias, a seu ver, eram pré-formacionistas.[2] Na época, Morgan era defensor da epigênese.[3] Além disso, a teoria cromossômica referia-se a cromossomos localizados no núcleo dos gametas, e Morgan acreditava que a herança dependia principalmente do citoplasma. Ele procurava uma teoria que explicasse não apenas a herança, mas também a evolução e o desenvolvimento.

Para ele, a teoria cromossômica falhava nesse sentido, já que espécies muito próximas apresentavam um número de cromossomos bastante diferente e os cromossomos eram aparentemente iguais nos diferentes tecidos (MARTINS, 1997; MARTINS, 1998).[4] Assim, não faria sentido, escolher um material experimental que fosse propício para estudar os cromossomos nucleares ou mesmo dedicar-se a seu estudo.

O início do trabalho de Morgan com Drosophila

Morgan era um entusiasta do trabalho experimental do botânico holandês Hugo de Vries (1848-1935) com a planta *Oenothera lamarckiana*. Em suas pesquisas, De Vries encontrara evidências de que novas espécies poderiam aparecer de maneira brusca, o que ele chamou de *teoria da mutação*.[5] Até 1915, as ideias de De Vries tiveram uma aceitação bastante grande dentro da comunidade científica. Morgan que, desde 1908, trabalhava no Departamento de Zoologia da Universidade de Colúmbia, desejava investigar se nos animais poderia ocorrer o aparecimento de uma nova espécie, de maneira brusca, de modo semelhante ao que De Vries pensou ter encontrado em *Oenothera*. Procurou obter financiamento para trabalhar com coelhos, mas não conseguiu. Decidiu então trabalhar com *Drosophila* (OLBY, 1992). Na época, diversos autores utilizavam esse material experimental e, mesmo o próprio Morgan, já o utilizara em

[2] Noção de que os indivíduos começam a partir de algo pré-formado, pré-delineado ou pré-determinado (MAIENSCHEIN, 2008).

[3] Contrariamente ao pré-formacionismo, a noção de epigênese é a de que os indivíduos começam a partir de um material sem forma, e que a forma emerge apenas gradualmente (MAIENSCHEIN, 2008). Hoje o termo é usado em um sentido diferente, referindo-se a aspectos da geração da forma durante o desenvolvimento embrionário que não são estritamente genéticos, mas epigenéticos.

[4] Martins, 1997, capítulo 1; Martins, 1998, p. 104-110.

[5] Na verdade, a maior parte dos casos encontrados por De Vries não era o que ele considerava *mutações* (que seriam para nós macromutações), mas o resultado dos complicados arranjos cromossômicos de *Oenothera*, que só foram elucidados posteriormente, por meio dos estudos de Reginald R. Gates e outros. (Ver a respeito da proposta de De Vries em Martins, 2000, por exemplo).

experimentos nos quais procurava averiguar a existência de herança de caracteres adquiridos (MARTINS, 2002).

No início de 1910, Morgan admitiu em seu laboratório três estudantes da Universidade de Columbia. Dois deles, Alfred Henry Sturtevant (1891-1970) e Calvin Blackman Bridges (1889-1938), estavam fazendo a graduação, e o terceiro, Herman Joseph Muller (1890-1967), a pós-graduação. Todos eles foram orientados por Edmund Beecher Wilson (1856-1939), Chefe do Departamento de Zoologia e amigo pessoal de Morgan. Wilson, ao contrário de Morgan, era um *expert* em Citologia e havia escrito um tratado sobre o assunto que já tinha sido editado várias vezes. Ele se dedicava ao teste da hipótese cromossômica, tendo publicado vários artigos sobre o assunto. Morgan, como mencionamos, era totalmente contrário à teoria cromossômica.

Morgan e seus colaboradores bombardearam as *Drosophila* com rádio para ver se surgiam novas espécies. Um dos colaboradores de Morgan, provavelmente Bridges, encontrou em uma das garrafas de cultura uma *Drosophila* macho de olhos brancos (MOORE, 1986, p. 235). O tipo selvagem apresentava olhos vermelhos. Provavelmente, Morgan considerou estar diante de uma *mutação*, no sentido de De Vries, só que em um animal, e procurou ver o que ocorria cruzando essa mosca com as moscas selvagens que apresentavam os olhos vermelhos. Assim, ele não desejava verificar se os resultados dos cruzamentos seguiam os padrões mendelianos, já que não aceitava os princípios ou as explicações de Mendel, mas averiguar se a mutação olhos brancos era transmitida aos descendentes como acreditava De Vries ou se seu comportamento seria explicado por variações darwinianas em pequena escala (MORGAN, 1910a; MARTINS, 2002).

Como resultado desse cruzamento, ele obteve em F1 um total de 1.237 moscas, sendo que essas tinham olhos vermelhos, com exceção de três moscas macho, que tinham olhos brancos – mas que ele ignorou! Depois, cruzou as moscas de olhos vermelhos de F1 entre si e constatou que em F2 surgiam algumas moscas macho de olhos brancos, mas nenhuma fêmea de olhos brancos. Imaginou que essa condição era limitada ao sexo masculino. Mais tarde, em outros cruzamentos, ele percebeu que, embora a condição olho branco acontecesse normalmente em machos, podia também ocorrer, ocasionalmente, em fêmeas.

A explicação dos resultados dos cruzamentos experimentais com a Drosophila de olhos brancos

Morgan, para explicar os resultados encontrados, apresentou inicialmente uma hipótese. Nessa primeira hipótese ele referiu-se a *fatores*, um termo utilizado por aqueles que trabalhavam dentro de uma perspectiva mendeliana e que ele não aceitava e criticava anteriormente. Supôs que o macho de *Drosophila* era X e a fêmea era XX. Imaginou que havia um

"fator" para olhos brancos (que não estaria localizado no cromossomo X) que ele chamou de "W" (*White*, branco em inglês), um fator para olhos vermelhos que ele chamou de "R" (*Red*, vermelho em inglês) e um fator sexual que ele chamou de "X". Assim, o macho seria WWX e a fêmea seria RRXX.

Nessa primeira hipótese, ele não mencionou cromossomos e nem apresentou dados citológicos. Sua análise foi puramente mendeliana, inspirada nos estudos sobre herança ligada ao sexo da época. Nas quatro verificações que fez da hipótese, não apresentou nenhum dado numérico. O fator X não estava relacionado ao cromossomo. Fez quatro testes para ver o que acontecia em novas situações e apesar de os resultados dos cruzamentos estarem de acordo com a hipótese, ele percebeu que essa hipótese estava equivocada.

Mais tarde (em julho de 1911), a partir dos resultados encontrados em outros cruzamentos experimentais realizados juntamente com seus colaboradores, formulou uma segunda hipótese.

Na segunda hipótese, Morgan admitiu que os alelos limitados ao sexo não estavam associados ao cromossomo X como na primeira hipótese, mas que eles estavam localizados no cromossomo X, juntamente com os fatores que determinam o sexo feminino. A condição de olhos brancos significava que os fatores para esse caráter estavam ligados ao cromossomo X. Tanto o fator para olhos vermelhos como o fator para olhos brancos estavam localizados no cromossomo X. Como acreditava que os machos só tinham um cromossomo X, ou este carregava o fator para olhos vermelhos ou para olhos brancos.

Somente a partir desse momento, julho de 1911, é que Morgan passou a se referir a cromossomos e adotar uma linha neomendeliana em sua pesquisa. Não mais mencionou suas críticas anteriores aos princípios de Mendel ou à teoria cromossômica, embora elas não tivessem sido respondidas e, durante mais de duas décadas, dedicou-se à genética de *Drosophila* e à teoria cromossômica, trabalhando dentro de uma linha de pesquisa que associava as duas teorias que ele combatia antes.

Algumas considerações sobre o episódio

A hipótese cromossômica,[6] no início do século XX, considerava que a herança estava relacionada a entidades físicas, os fatores, mais tarde chamados genes, localizados nos cromossomos e que era possível estabelecer um paralelo entre o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular e os princípios de Mendel. Essa hipótese recebeu muitas críticas, inclusive por parte de Morgan, e levou muito tempo para ser estabelecida porque tinha muitos problemas e poucas evidências favoráveis. Seu estabelecimento resultou da contribuição de vários pesquisadores que não

[6] Ver a respeito em Martins (1999).

mencionamos aqui, como, por exemplo, McClung, Montgomery, Wilson, Nettie Maria Stevens, East, e tantos outros, além de Sturtevant, Muller e Bridges, Morgan e outros de seus colaboradores. Ficou estabelecida com a apresentação da evidência citológica do *crossing-over*, na década de 1930.

Aspectos da natureza da ciência presentes neste estudo de caso

Este estudo de caso mostra vários aspectos da Natureza da Ciência. Em primeiro lugar, que os cientistas podem mudar de opinião. Embora as evidências científicas encontradas contribuam para isso, podem existir outros fatores não-conceituais ou extracientíficos que determinem essa mudança. No caso de Morgan, não foram as evidências experimentais que o levaram a mudar de ideia, já que as objeções que ele fazia anteriormente não foram respondidas em 1910-1911. Morgan, que até essa época dedicava-se a vários tipos de estudo, como, por exemplo, a morfologia de invertebrados marinhos, a regeneração em anfíbios e peixes, o desenvolvimento dos ovos de sapos e rãs e a determinação de sexo em insetos, aderiu à nova linha de pesquisa porque ela podia trazer resultados frutíferos e contribuir para que ele se firmasse profissionalmente, o que ele não estava conseguindo até o momento. Por meio da pesquisa desenvolvida dentro dessa nova abordagem, ele poderia obter financiamentos e projeção profissional (MARTINS, 1998).

Novas teorias não são aceitas de imediato pela comunidade científica. Em geral, encontram oposição, como no caso da teoria cromossômica em suas fases iniciais. As teorias levam tempo para serem estabelecidas. Surgem problemas que não são solucionados de imediato. As teorias são resultado de um trabalho coletivo, por parte de vários pesquisadores, que inclui acertos, erros, críticas. A contribuição dos estudantes de Morgan foi muito importante, pois eles eram treinados em Citologia, ao contrário do próprio Morgan. Wilson, Stevens e muitos outros também contribuíram. As críticas, muitas vezes, levam à busca por novas soluções para os problemas ou pontos que não estão claros. Nesse sentido, William Bateson (1861-1926) e outros contribuíram para o trabalho de Morgan e colaboradores com *Drosophila*.

Generalizações na ciência são problemáticas, pois nem sempre os cientistas escolhem o material adequado para aquilo que querem realizar. *Drosophila* não foi a primeira opção de Morgan, mas devido a uma série de circunstâncias, ele acabou trabalhando com esse material experimental. Como vimos, quando começou a usar este material experimental, ele não estava interessado em cromossomos ou em investigar a hipótese cromossômica, mas estava testando se a teoria da mutação de De Vries podia ser aplicada aos animais. Essa escolha acabou sendo vantajosa para a nova linha de pesquisa adotada por Morgan, mas poderia não ter sido assim.

Finalizando, a hipótese que motivou o trabalho de Morgan com *Drosophila* não foi a hipótese cromossômica, mas a hipótese da *mutação* no sentido de De Vries. Além disso, ele não queria testar a primeira e segunda *leis* de Mendel, já que era contra a teoria mendeliana. Por outro lado, os experimentos de Morgan não *provaram* a hipótese ou teoria cromossômica a partir de 1910, mas trouxeram evidências que lhe eram favoráveis.

Esperamos que o presente trabalho ofereça subsídios para que os professores de Biologia possam preparar aulas que contemplem a abordagem histórica sugerida. Por outro lado, que possa contribuir como fonte histórica para os autores de livros didáticos.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao CNPq e à FAPESP pelo apoio recebido que viabilizou esta pesquisa.

Referências

ALLEN, Garland E. The introduction of *Drosophila* into the study of heredity and evolution, 1900-1910. *Isis*, v. 66, p. 322-333, 1975.

ALLEN, Garland E. *Thomas Hunt Morgan:* the man and his science. Princeton: Princeton University Press, 1978.

BITTENCOURT, Fabricio B.; PRESTES, Maria Elice B. O tratamento dado à História da Biologia nos livros didáticos brasileiros recomendados pelo PNLEM-2007: análise das contribuições de Gregor Mendel. In: SILVA, Cibelle C.; PRESTES, Maria Elice B. *Learning science and about science through history and philosophy*. São Paulo: Livraria da Física/Fapesp. No prelo.

CARMO, Viviane A do. *Episódios da história da biologia e o ensino de ciência:* as contribuições de Alfred Russel Wallace. 2011. Tese. (Doutorado). São Paulo: FEUSP, 2011.

EL-HANI, Charbel Niño; TAVARES, José Madureira; ROCHA, Pedro Luis Bernardo. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. *Investigação em Ensino de Ciências,* v. 9, n. 3, p. 265-213, 2004.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science and Education*, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2010.

LAUGKSCH, Rüdiger C. Scientific literacy: a conceptual overview. *Science & Education*, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present and future. p. 831-880, In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.) *International Handbook of Science Education*. New York: Routledge, 2007.

MAcCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H. ; GLOUGH, M. P. The nature of science in science education: introduction. *Science & Education,* v. 7, p. 511-532, 1998.

MAIENSCHEIN, Jane. Epigenesis and preformationism. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford: Center for the Study of Language and Information of Stanford University, 2008. Disponível em: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/epigenesis/>. Acesso em: 15 nov. 2011.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da herança:* proposta, fundamentação, crítica e aceitação. 1997. Tese. (Doutorado). Campinas: UNICAMP, 1997.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Thomas Hunt Morgan e a teoria cromossômica: de crítico a defensor. *Episteme*, v. 3, n. 6, p. 100-126, 1998.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. A História da Ciência e o Ensino da Biologia. *Ciência & Ensino* (UNICAMP), Campinas, n. 5, p. 18-21, 1998.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Did Sutton and Bovei propose the so-called Sutton-Boveri chromosome hypothesis? *Genetics and Molecular Biology,* v. 22, n. 2, p. 261-271, 1999.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Hugo de Vries y evolución: La teoría de La mutación. *Epistemología e Historia de La Ciencia,* v. 6, n. 6, p. 259-262, 2000.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Um achado inusitado no laboratório de Morgan: a *Drosophila* de olhos brancos. p. 227-256. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. *O laboratório, a oficina e o ateliê. A arte de fazer o artificial*. São Paulo: EDUC/FAPESP, 2002.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; BRITO, Ana Paula de Oliveira Pereira de Morais. As concepções iniciais de Thomas Hunt Morgan acerca de evolução e hereditariedade. *Filosofia e História da Biologia*, v. 1, p. 175-189, 2006a.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; BRITO, Ana Paula Oliveira Pereira Morais. A História da Ciência e o Ensino da Genética e Evolução no nível médio: um estudo de caso. p. 245-264. In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências:* subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006b.

MATTHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science.* New York: Routledge, 1994.

MORGAN, Thomas Hunt. What are factors in Mendelian explanations? *American Breeders Association. Report 6*, p. 365-368, 1909.

MORGAN, Thomas Hunt. Hybridization in a mutative period in *Drosophila. Proceedings of the Society of Experimental Biology*, v. 7, p. 160-161, 1910a.

MORGAN, Thomas Hunt. Chromosomes and heredity. *American Naturalist*, v. 44, p. 449-496, 1910b.

MOORE, John A. Science as a way of knowing-genetics. *American Zoologist,* v. 26, n. 3, p. 583-747, 1986.

PRESTES, Maria Elice Brzezinski; CALDEIRA, Ana Maria Andrade. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, v. 4, p. 1-16, 2009.

RUDGE, David W.; HOWE, Eric M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, v. 18, p. 561-580, 2009.

SASSERON, Lúcia H.; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Almejando a alfabetização científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SOBRE OS AUTORES

ANA PAULA BISPO DA SILVA é licenciada e mestre em Física, e doutora em Ciências, com ênfase em História da Física e da Matemática, pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professora da Universidade Estadual da Paraíba, onde desenvolve pesquisas na área de Ensino de Física. Tem experiência na área de Ensino e Pesquisa em Física, com ênfase em Física Geral, atuando principalmente nos seguintes temas: História e Teoria da Ciência, História da Física, História da Matemática e Ensino de Ciências e Matemática. É líder do Grupo de Pesquisa História da Ciência e Ensino, da Universidade estadual da Paraíba.
email: anabispouepb@gmail.com

ANDRÉ FERRER P. MARTINS é bacharel e licenciado em Física, mestre em Ensino de Física e doutor em Educação pela Universidade de São Paulo. Foi professor do Ensino Médio por cerca de dez anos, antes de enveredar pela carreira acadêmica. Atualmente é professor do Centro de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Ministra disciplinas no curso de Pedagogia e nas demais licenciaturas. Pesquisa e orienta na área de Ensino das Ciências Naturais, com ênfase no uso da História e da Filosofia da Ciência no processo de ensino-aprendizagem e em questões envolvendo a temática da Natureza da Ciência.
email: aferrer34@yahoo.com.br

ANDREIA GUERRA é graduada em Física, mestre em Difusão de Ciência e Tecnologia na Engenharia de Produção e doutora em História e Filosofia da Ciência na Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professora pesquisadora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Celso Suckow da Fonseca - RJ, docente do Programa de Pós-Graduação em Educação Ciência e Tecnologia e coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. É coautora das coleções Breve História da Ciência Moderna e Ciência no Tempo. Atua principalmente nas áreas de História da Ciência, Ensino de Ciências, Ensino de Física e Difusão de Ciência e Tecnologia.
email: grupo@tekne.pro.br

CARLOS ALBERTO MARQUES é licenciado, bacharel e mestre em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina, e doutor em Ricerche in Scienze Chimiche pela Universita degli Studi di Venezia. Realizou pós-doutorado na Itália sobre o tema da Química Verde na Educação Química Escolar. Atualmente, é professor da Universidade Federal de Santa Catarina. Leciona as disciplinas de Metodologia e Prática de Ensino de

Química, na Graduação, e Seminário de Dissertação II, na Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Vem pesquisando aspectos ligados ao Ensino de Química/Ciências, à formação de professores e à relação entre a Química e o meio ambiente, temas discutidos à luz das perspectivas da Química Verde, da sustentabilidade ambiental, do enfoque CTS e da perspectiva freireana de educação.
email: bebeto@ced.ufsc.br

DEMÉTRIO DELIZOICOV é licenciado em Física e doutor em Educação pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ensino-Aprendizagem.
email: demetrio@ced.ufsc.br

DIEGO AURINO DA SILVA é graduado em Física e mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência nas áreas de Ensino de Física e de História e Filosofia da Ciência. Dedica-se artisticamente à poesia e à literatura.
email: diegoaurino@gmail.com

ELDER SALES TEIXEIRA é licenciado em Física pela Universidade Federal da Bahia e mestre em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana. Atualmente é professor assistente da Universidade Estadual de Feira de Santana e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS). Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ensino, Filosofia e História das Ciências e Metodologia para o Ensino de Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino de Física, abordagem contextual, Natureza da Ciência, História e Filosofia da Ciência e argumentação.
email: eldersate@gmail.com

ILEANA MARIA GRECA é graduada em Matemática Física e Cosmografia pelo Instituto Nacional Superior Del Profesorado de Paraná, mestre e doutora em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente, é professora visitante da Universidade Federal da Bahia e revisora dos periódicos Science & Education, Ciência e Educação e Investigações em Ensino de Ciências. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Ensino de Física, atuando principalmente nos seguintes temas: representações mentais, referenciais teóricos e metodológicos para a pesquisa em Ensino de Ciências, introdução de tópicos de Física Moderna no Ensino, sustentabilidade e estudo e implementação de comunidades de prática para o desenvolvimento profissional docente.
Email: ilegreca@hotmail.com

JENNER BARRETTO BASTOS FILHO é bacharel em Física pela Universidade Federal da Bahia, mestre em Física pela Universidade Estadual de Campinas, doutor em Física pela Escola Politécnica Federal de Zürich — ETH Zürich. Realizou estágio de pós-doutoramento na Universidade de Bari. Atualmente, é Professor Associado da Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência nas áreas de Física Geral, Fundamentos da Física Quântica, Ensino de Física, História e Filosofia da Ciência, Educação Ambiental e Teorias do Desenvolvimento. É membro correspondente da Academia Paraense de Ciências, membro do Comitê de Ética em Pesquisa e Bioética da UFAL e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFAL). Participa do corpo editorial do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, da Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais e do periódico Investigações em Ensino de Ciências. Publicou os livros *O que é uma Teoria Científica?* e *Reducionismo: Uma Abordagem Epistemológica*, ambos pela Editora da Universidade Federal de Alagoas.
email: jennerbbf@hotmail.com

JORGE VALADARES é licenciado em Ciências Físico-Químicas e Ciências Pedagógicas pela Universidade Clássica de Lisboa e doutor em Didática da Física. Atuou como professor efetivo de Física e Química. Iniciou a carreira de pesquisador no Instituto Português de Ensino a Distância, em 1982, tendo apresentado desde então 59 comunicações em conferências internacionais, das quais cerca de metade foi publicada em atas. Publicou 49 livros, 9 capítulos de livros, 28 artigos em periódicos, proferiu 41 conferências ou palestras e realizou 87 cursos ou seminários de formação de professores. Investiga atualmente a relação entre a História e Filosofia das Ciências e o Ensino.
email: jorgevaladares@netcabo.pt

JOSÉ CLAUDIO REIS é licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestre em Educação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é CLT da Escola Parque e Professor adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Currículo. Atua principalmente nos seguintes temas: História da Ciência, Educação, Interdisciplinaridade, Filosofia da Ciência, História da Arte e Ensino de Ciências.
email: grupo@tekne.pro.br

JULIANA MESQUITA HIDALGO FERREIRA é bacharel em Física pela Universidade Estadual de Campinas, mestre em História da Ciência e doutora em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Realizou estágios de pós-doutoramento na Universidade Estadual de Campinas e na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Atualmente, é professora pesquisadora na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atua principalmente nas áreas de História da Ciência, História e Filosofia da Ciência no Ensino e Natureza da Ciência. É integrante do Grupo de História e Teoria da Ciência da Universidade de São Paulo.
email: juliana_hidalgo@yahoo.com

LILIAN AL-CHUEYR PEREIRA MARTINS é graduada em História Natural pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, especialista em História da Ciência pela Universidade Estadual de Campinas, mestre e doutora em Ciências Biológicas na área de Genética, pela Universidade Estadual de Campinas, com doutorado Sandwich no Department of History and Philosophy of Science na Universidade de Cambridge (Inglaterra) e pós-doutorado no Grupo de História e Teoria da Ciência. Foi professora do Programa de História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, de março de 1999 a janeiro de 2011. Atualmente, é professora do Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras do Campus de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. É membro do Grupo de História e Teoria da Ciência da Universidade de São Paulo, bolsista de produtividade pesquisa do CNPq (nível 2) e vice-presidente da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia. Dedica-se à História das Ciências da Vida em geral, principalmente, à História da Genética e Evolução.
email: lilian.pereira.martins@gmail.com

LUIZ O. Q. PEDUZZI é bacharel e mestre em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e doutor em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Universidade Federal de Santa Catarina. É professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. No Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da UFSC, orienta, atualmente, pesquisas voltadas à investigação do potencial didático, cultural e epistemológico da História da Ciência para o Ensino da Física. É um dos editores do periódico *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*.
email: luizpeduzzi@gmail.com

MARCELO LAMBACH é licenciado em Química pela Universidade Federal do Paraná e graduado em Química Industrial pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. É mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina, especialista em TIC na Edu-

cação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e especialista em Educação de Jovens e Adultos pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente, é docente pela Secretaria de Estado da Educação do Paraná e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Química no Ensino Médio e Ciências do Ensino Fundamental, atuando principalmente nos seguintes temas: Educação Científica, ensino na perspectiva de Paulo Freire, avaliação, Educação de Jovens e Adultos, Epistemologia e Tecnologias da Informação e Comunicação, Educação a Distância, Ensino de Ciências e Química com ênfase CTS.
email: marcelolambach@gmail.com

MARCO BRAGA é graduado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestre em Educação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e doutor em Engenharia de Produção pela COPPE - UFRJ. Atualmente é professor e pesquisador no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ. Coordena o Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET-RJ e é líder do Grupo de Pesquisa sobre História e Filosofia da Ciência no Ensino. É coautor da Coleção *Breve História da Ciência Moderna* e da Coleção *Ciência no Tempo*. É membro da International Organization for Science and Technology Education (IOSTE), da European Science Education Research Association (ESERA) e do International History, Philosophy and Science Teaching Group (IHPST). Suas áreas de investigação são: Ensino de Ciências, História, Filosofia e Sociologia das Ciências e Divulgação Científica. Tem como temas de Interesse a Natureza da Ciência, as relações Ciência e Visões de Mundo e a Epistemologia das Ciências Naturais.
email: braga@tekne.pro.br

MARIA ELICE BRZEZINSKI PRESTES é graduada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, especialista em História da Ciência e Epistemologia pela Universidade Estadual de Campinas, mestre em Ciência Ambiental pela Universidade de São Paulo e doutora em Educação pela Universidade de São Paulo, com período de Doutorado-sanduíche-CNPq junto ao REHSEIS da Universidade de Paris 7 — Denis Diderot. Realizou estágio de pós-doutoramento pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e viagens de pesquisa de pós-doutorado à Universidade de Montreal, Universidade de Paris 1, Equipe REHSEIS da Universidade de Paris 7 e ao Centro Alexandre Koyré de Pesquisa em História da Ciência. Atualmente é professora do Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, onde ministra disciplinas de ensino de Biologia, na Graduação, e de História da Biologia, na Pós-Graduação. É presidente da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia

(ABFHiB) e editora do periódico Filosofia e História da Biologia. Realiza pesquisas na área de História da Biologia, com ênfase no século XVIII, e de História da Biologia e Ensino.
email: eprestes@ib.usp.br

MARINÊS DOMINGUES CORDEIRO é licenciada em Física e mestre pelo Programa de Pós-Graduação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas de interesse são História e Filosofia da Ciência, Radioatividade e Didática das Ciências.
email: marinesdc@hotmail.com

MAURÍCIO PIETROCOLA é licenciado em Física e mestre em Ensino de Ciências (Modalidade Física e Química) pela Universidade de São Paulo. É doutor em Epistemologie et Histoire des Sciences pela Universite de Paris VII - Universite Denis Diderot&quot. Foi membro da *International Comission on Physics Education* (2002- 2005; vice-presidente: 2005-2008). Atualmente, é professor titular da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, membro correspondente internacional da equipe RESHEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et Instituitions scientifiques). Realiza pesquisas em estratégias inovadoras no Ensino de Ciências e na formação de professores.
email: mpietro@usp.br

NADIR CASTILHO DELIZOICOV é graduada em Pedagogia e em Ciências Físicas e Biológicas, mestre e doutora em Educação pela Universidade Federal de Santa Catarina. Foi professora da Universidade do Oeste de Santa Catarina, onde atuou no Curso de Mestrado em Educação, do qual foi coordenadora de 2003 a 2005. Atualmente é professora titular do Centro de Ciências Humanas e Jurídicas da Universidade Comunitária da Região de Chapecó. É professora colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de educação, principalmente nos seguintes temas: metodologia do ensino de ciências/biologia, formação de professor, ensino de ciências naturais/ciências e biologia, epistemologia, história da ciência e ensino, pesquisa e formação de professores.
email: ridanc.nadir@gmail.com

OLIVAL FREIRE JR. é licenciado e bacharel em Física pela UFBa, mestre em Ensino de Física e doutor em História Social pela Universidade de São Paulo. Realizou estágios de pós-doutoramento na Université Paris 7 e na Harvard University e Estágio Senior no MIT. Em 2004, recebeu uma Senior Fellowship do Dibner Institute for the History of Science and Technology, MIT, EUA. Publicou 46 artigos em periódicos especializados, 2 livros, 3 coletâneas e 27 capítulos de livros, além de 30 trabalhos em anais de eventos.

Atualmente é Professor Associado III da Universidade Federal da Bahia e Pesquisador 1-C do CNPq na área de História da Ciência. É o presidente da Sociedade Brasileira de História da Ciência para o período 2011-2012 e o 1º Vice-Presidente da Comissão para História da Física Moderna da União Internacional de História e Filosofia da Ciência. É o editor de História da Física da *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Foi um dos criadores e primeiro coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (M/D, UFBA-UEFS, Conceito 5 Capes). Orientou 3 teses de doutoramento, 16 dissertações de mestrado e coorientou 3, além de ter orientado 17 trabalhos de iniciação científica nas áreas de História das Ciências, Ensino de Ciências, e Epistemologia. Em fevereiro de 2011, assumiu a função de Coordenador da Secretaria do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia no Ministério da Ciência e Tecnologia.
email: freirejr@ufba.br

RILAVIA ALMEIDA DE OLIVEIRA é licencianda em Física pela Universidade Estadual da Paraíba. Desenvolve pesquisa na área de História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências, juntamente ao Grupo de Pesquisa História da Ciência e Ensino, da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Atualmente, dedica-se ao projeto PIBIC/CNPq intitulado *A experimentação durante o século XVII: Galileu e os primeiros telescópios*, vinculado ao projeto PROPESQ/UEPB: *História da Ciência e formação de professores: explorando episódios históricos*.
email: rilavia.almeida@gmail.com

ROBERTO DE ANDRADE MARTINS é graduado em Física pela Universidade de São Paulo e doutor em Lógica e Filosofia da Ciência pela Universidade Estadual de Campinas. Foi professor do Instituto de Física Gleb Wataghin, da Universidade Estadual de Campinas, de 1983 a 2010. Colaborou como orientador, com a Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e com a Universidade de São Paulo. Orientou 20 dissertações de mestrado e coorientou 1, orientou 5 teses de doutorado e coorientou 1 nas áreas de História, Física e Filosofia. Foi Presidente da Sociedade Brasileira de História da Ciência e da Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul. Atualmente, é Professor Visitante do Departamento de Física da Universidade Estadual da Paraíba, em Campina Grande. Dedica-se a pesquisas sobre História e Filosofia da Ciência (especialmente da Física). É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq, nível I-B.
email: roberto.andrade.martins@gmail.com

THAIS CYRINO DE MELLO FORATO é bacharel, licenciada em Física e mestre em História da Ciência pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. É doutora em Educação pela Universidade de São Paulo. Atualmente, é professora Adjunta na Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema, no curso de Licenciatura Plena em Ciências. Desenvolve pesquisas a respeito da utilização da História e Filosofia da Ciência na Educação Científica. Tem experiência na área de Educação, em nível superior e no Ensino Médio, e na formação inicial e continuada de professores atuando, principalmente, nos seguintes temas: História da Ciência, Natureza da Ciência no Ensino de Ciências e Ensino de Física Clássica. É editora adjunta da Prometeica — Revista de Filosofia y Ciencia.
email: thaiscmf@gmail.com

CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico

ISBN 978-85-7273-885-9